

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC KOMPOZİTLERİN FİZİKSEL VE  
ELEKTROMANYETİK EKLANLAMA ÖZELLİKLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Malz. Bil. Müh. Hilalnur ŞEKER**

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME  
MÜHENDİSLİĞİ**  
**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Cuma BİNDAL**  
**Ortak Danışman : Doç. Dr. Ali Osman KURT**

**Ocak 2013**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC KOMPOZİTLERİN FİZİKSEL VE  
ELEKTROMANYETİK EKSPANLAMA ÖZELLİKLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

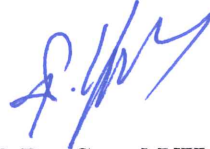
**Malz. Bil. Müh. Hilalnur ŞEKER**

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME  
MÜHENDİSLİĞİ

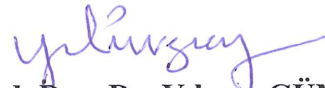
Bu tez 21 / 01 / 2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Cuma BİNDAL  
Jüri Başkanı



Prof. Dr. Şenol YILMAZ  
Üye



Yrd. Doç. Dr. Yılmaz GÜNEY  
Üye

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının yürütülmesi ve sonuçlandırılmasında değerli fikir ve tecrübeleri ile beni yönlendiren danışman hocam Prof. Dr. Cuma BİNDAL'a,

Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Başkanlığına, çalışmalarımı yakından ilgilenen ve fikirlerinden faydalandığım başta Doç. Dr. Ali Osman KURT olmak üzere öğretim üyelerine, disiplinler arası çalışmalarda yardımcı olan Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü Arş. Gör. Şuayb YENER'e, deneysel anlamdaki desteklerinden dolayı teknikerlere,

Tez kapsamında deneysel çalışmaların büyük bir kısmı Cluj-Napoca Teknik Üniversitesi'nde (Romanya) gerçekleştirilmiştir. Gerekli olanakları sağlayan ve çalışmaların yönlendirilmesinde katkıları olan Prof. Dr. Liviu BRANDUŞAN'a, önerilerinden faydalandığım Arş. Gör. Gabriel BATIN'a ve teknikerlere,

Fikirlerini aldığım Müh. Durmuş BAYRAK'a, testlerin yapılmasında yardımcı olan Paul DAVID'e ve isimlerini burada saymadığım her zaman yanımda olan arkadaşlarıma ve son olarak bu günlere gelmemde emeği geçen, bana maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen pek değerli aileme,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hilalnur ŞEKER

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET .....	xi
SUMMARY .....	xii

## BÖLÜM 1.

GİRİŞ .....	1
-------------	---

## BÖLÜM 2.

SERAMİK VE KOMPOZİT MALZEMELER.....	4
2.1. Seramik Malzemeler .....	4
2.1.1. Geleneksel seramikler .....	5
2.1.2. İleri teknoloji seramikleri .....	6
2.2. Seramik Hammaddelerin Öğütülmesi .....	6
2.3. Seramik Ürünlerin Şekillendirilmesi .....	8
2.3.1. Şekillendirme yöntemleri.....	9
2.3.1.1. Kuru presleme .....	9
2.3.1.2. Soğuk izostatik presleme [(CIP) cold isostatic pressing] .....	10
2.3.1.3. Sıcak izostatik presleme [(HIP) hot isostatic pressing] .....	10
2.3.1.4. Slip döküm .....	11
2.3.1.5. Şerit döküm .....	12
2.3.1.6. Enjeksiyon kalıpta şekillendirme .....	13
2.3.1.7. Ekstrüzyon.....	14

2.4. Seramik Ürünlerin Kurutulması Ve Pişirilmesi.....	15
2.4.1. Kurutma işlemi.....	15
2.4.2. Sinterleme .....	16
2.4.3. Sinterlemenin oluşum süreçleri.....	16
2.4.4. Sinterleme mekanizmaları .....	18
2.4.4.1. Katı hal sinterlemesi .....	18
2.4.4.2. Sıvı faz sinterlemesi.....	19
2.4.4.3. Reaktif sıvı sinterlemesi.....	20
2.4.4.4. Buhar faz sinterlemesi .....	21
2.5. Kompozit Malzemeler.....	22
2.5.1. Kompozit malzeme türleri .....	23
2.5.1.1. Metal matris kompozitler .....	23
2.5.1.2. Polimer matris kompozitler.....	24
2.5.1.3. Seramik matris kompozitler .....	25
2.5.2. Kompozit malzemelerin avantaj ve dezavantajları .....	26
2.5.3. Kompozit malzeme kullanım alanları .....	26

### BÖLÜM 3.

ALÜMİNA VE SİLİSYUM KARBÜR.....	27
3.1. Alümina .....	27
3.1.1. Dünya’da ve Türkiye’de alümina üretimi.....	27
3.1.2. Alüminanın özellikleri.....	28
3.1.3. Alümina mineralleri .....	29
3.1.5. Alüminanın kullanım alanları .....	31
3.2. Silisyum Karbür .....	31
3.2.1. Silisyum karbürün kristal yapısı.....	32
3.2.2. Silisyum karbürün genel özellikleri .....	33
3.2.3. Silisyum karbür kullanım alanları .....	35

### BÖLÜM 4.

ELEKTROMANYETİK TEMEL KAVRAMLAR .....	36
4.1. Elektriksel Uzunluk.....	36

4.2. Elektrik Alan.....	36
4.3. Manyetik Alan .....	38
4.4. Elektromanyetik Alan .....	39
4.5. Elektromanyetik Ekranlama (EMS).....	40
4.6. Ekranlama Etkinliği (SE) .....	42
4.7. Elektromanyetik Etkileşimi (EMI) Ekranlama Malzemeleri .....	42
4.7.1. Metal bazlı ekranlama malzemeleri .....	43
4.7.2. Ekranlama için iletken boyalar .....	43
4.7.3. Elektriksel iletken polimerler .....	44
4.7.4. Seramik matris ve karbon matris malzemeler .....	44

## BÖLÜM 5.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	45
5.1. Deney Programı .....	45
5.2. Toz Karışımlarının Hazırlanması.....	46
5.3. Tozların Şekillendirilmesi .....	46
5.4. Sinterleme .....	47
5.5. Sinterlenen Numunelerin Karakterizasyonu.....	48
5.5.1. Pişme küçülmesi.....	48
5.5.2. Yoğunluk ve relatif yoğunluk .....	49
5.5.3. Gözeneklilik .....	49
5.5.4. Eğme (üç nokta eğme) mukavemeti .....	50
5.5.5. Sertlik.....	50
5.5.6. Taramalı elektron mikroskobu ve optik mikroyapı incelemeleri.....	50
5.5.7. X-ışınları difraksiyonu (XRD) .....	51
5.5.8. Elektromanyetik ekranlama ve ekranlama etkinliği.....	51

## BÖLÜM 6.

DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELENMESİ.....	53
6.1. Pişme Küçülmesi .....	53
6.2. Yoğunluk Ve Relatif Yoğunluk.....	55
6.3. Gözeneklilik.....	57

6.4. Eğme (Üç nokta eğme) Mukavemeti .....	59
6.5. Sertlik .....	60
6.6. SEM ve Optik Mikroyapı İncelemeleri .....	62
6.7. X-Işınları Difraksiyonu (XRD).....	66
6.8. Elektromanyetik Ekranlama ve Ekranlama Etkinliği.....	67
BÖLÜM 7.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	72
7.1. Sonuçlar .....	72
7.2. Öneriler.....	74
KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ .....	78

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

EMC	: Elektromanyetik Uyumluluk (Electromagnetic Compatability)
EMI	: Elektromanyetik Etkileşim, Elektromanyetik Girişim (Electromagnetic Interference)
EMSE	: Elektromanyetik Ekranlama Etkinliği (Electromagnetic Shielding Effectiveness)
SE	: Ekranlama Etkinliği (Shielding Effectiveness) (dB)
E	: Elektrik alan şiddeti
H	: Manyetik alan şiddeti
B	: Manyetik akı yoğunluğu
$\rho$	: Elektrik yükü yoğunluğu
$\rho'$	: Eşdeğer manyetik direnci
$\epsilon$	: Dielektrik sabiti
$\mu$	: Manyetik geçirgenlik
$\sigma$	: İletkenlik
$\epsilon_r$	: Bağıl dielektrik sabiti
$\mu_r$	: Bağıl manyetik geçirgenlik
$\epsilon_0$	: Boşluğun dielektrik sabiti, $8.8542 \cdot 10^{-12}$ F/m
$\mu_0$	: Boşluğun manyetik geçirgenliği, $4\pi \cdot 10^{-7}$
f	: Frekans
$\lambda$	: Dalga boyu



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	(a) kaskat, (b) katarakt etkili öğütme, (c) kritik öğütme sayısı .....	8
Şekil 2.2.	Kuru preslemenin şematik gösterimi .....	10
Şekil 2.3.	Slip döküm .....	12
Şekil 2.4.	Şerit dökümle şekillendirme işlemi. (a),(b),(c) farklı boyutları gösterir	13
Şekil 2.5.	Enjeksiyon kalıpta şekillendirme .....	14
Şekil 2.6.	Ekstrüzyon ile şekillendirme .....	15
Şekil 2.7.	Şekillendirme sonrası seramik malzemedeki gözenekler (porlar) .....	17
Şekil 2.8.	Sinterleme esnasında, tozların birbirine kenetlenmesi ve gözenek miktarı ile morfolojisinin değişimi.....	18
Şekil 2.9.	Sinterleme esnasında, katı-hal malzeme taşınımı sonucu, boyun teşekkül ile tozların kenetlenmesi .....	19
Şekil 2.10.	Tozlar arasında bulunan sıvı damlası, temas bölgesinde basma kuvvetlerine neden olarak tozları bir arada tutar.....	21
Şekil 2.11.	Buharlaştırma-kondensasyonla sinterlemede ilk aşamalar .....	22
Şekil 3.1.	Kübik ve hegzogonal SiC yapısı.....	32
Şekil 4.1.	$q_0$ yüküne etkiyen elektrik alan.....	37
Şekil 4.2.	Elektrik alan çizgileri .....	38
Şekil 4.3.	$q$ yüküne etkiyen manyetik kuvvetin yönü .....	39
Şekil 4.4.	Maxwell eşitliklerinin genelleştirilmiş ifadeleri .....	40
Şekil 5.1.	$Al_2O_3$ - SiC kompozit yapı üretim akış şeması .....	45
Şekil 5.2.	Silindirik numuneler.....	47
Şekil 5.3.	7,5×7,5×50 mm boyutlarındaki eğme testi numuneleri .....	47
Şekil 5.4.	Agilent E5071C ENA sinyal jeneratörü .....	52
Şekil 5.5.	Ekranlama Etkinliği Ölçümü İçin Hazırlanan Numuneler .....	52
Şekil 6.1.	Sinterleme sonrası numunelerin makro görünümü .....	54
Şekil 6.2.	Farklı bileşimlerdeki numunelerin pişme küçülmesinin değişimi .....	55

Şekil 6.3.	Farklı bileşimlerdeki numunelerin sinter sonrası yoğunluk ( $\text{g/cm}^3$ ) değişimi.....	57
Şekil 6.4.	Numunelerin % gözenek miktarı dağılımı .....	58
Şekil 6.5.	Numunelerin üç nokta eğme mukavemeti dağılımı .....	60
Şekil 6.6.	Sinterlenmiş numunelerin sertlik değerleri dağılımı.....	62
Şekil 6.7.	40S_125-250 kodlu numunenin SEM mikroyapısında $\text{Al}_2\text{O}_3$ ve SiC görünümü .....	63
Şekil 6.8.	%30 oranında SiC içeren kompozitlerin optik mikroyapıları.....	64
Şekil 6.9.	%40 oranında SiC içeren kompozitlerin optik mikroyapıları.....	65
Şekil 6.10.	Sinterlenmiş 40-80 $\mu\text{m}$ boyutunda %40 SiC ilaveli alüminanın XRD analizi.....	66
Şekil 6.11.	%30 SiC içeren numunelerin saf alümina ve farklı tane boyutunda SiC içeriğine göre 12-18 GHz aralığında SE değerlerinin karşılaştırılması..	68
Şekil 6.12.	%40 SiC içeren numunelerin saf alümina ve farklı tane boyutunda SiC içeriğine göre 12-18 GHz aralığında SE değerlerinin karşılaştırılması..	69
Şekil 6.13.	Bazı metallerin SE değerlerinin karşılaştırılması .....	70

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Pekİştirici liflerin özellikleri .....	24
Tablo 2.2.	Lifli kompozitlerin özellikleri .....	25
Tablo 3.1.	Alüminyum mineralleri .....	30
Tablo 3.2.	Endüstride kimyasal içeriğine göre % SiC'ün sınıflandırılması .....	33
Tablo 3.3.	Silisyum karbür malzemelerin fiziksel özellikleri .....	34
Tablo 5.1.	Hazırlanan karışımların % ağırlık oranları .....	46
Tablo 6.1.	Sinterleme sonrası numunelerde pişme küçülmesi (%) .....	54
Tablo 6.2.	Sinterlenen numunelerin yoğunluk değerleri.....	56
Tablo 6.3.	Numunelerin % gözenek miktarı değerleri.....	58
Tablo 6.4.	Numunelerin üç nokta eğme mukavemeti değerleri .....	59
Tablo 6.5.	Sinterlenmiş numunelerin sertlik değerleri, HRA, HV .....	61

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: Kompozit malzeme, alümina, SiC, elektromanyetik ekranlama (EMS), ekranlama etkinliği (SE)

Günümüzde seramik matris kompozit malzemelerin kullanım alanı geniş boyutlara ulaşmıştır. Bu malzemelerin yaygın kullanım alanlarından birisi de elektriksel yalıtkanlık istenilen uygulamalarda elektrik ve elektronik sanayine yönelik izolatörlerdir. Ancak literatürde seramik matris kompozit yapıların elektro magnetik ekranlama etkisine yönelik sınırlı sayıda çalışma mevcuttur.

Bu nedenle bu çalışmada matris yapı olarak 5 µm boyutunda ticari alümina, takviye amaçlı 40-80, 80-125 ve 125-250 µm olmak üzere üç farklı tane boyut aralığına sahip SiC ağırlıkça %30 ve %40 oranlarında kullanılarak seramik matris seramik parçacık takviyeli kompozit (CMC) malzeme üretilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin sinterleme süreçlerinden sonra pışme küçülmesi, yoğunluk, gözeneklilik, sertlik, eğme dayanımı testleri yapılmış ve ayrıca malzemelerin elektromanyetik ekranlama (EMS) özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda üretilen SiC takviyeli kompozit malzemelerin ekranlama etkinliği (SE), saf alümina malzemesine kıyasla daha yüksek olmuştur. SiC parçacık boyutunun artması kompozit yapının ekranlama etkinliğini arttırmıştır.

# **PHYSICAL AND ELECTROMAGNETIC SHIELDING PROPERTIES OF Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC COMPOSITES**

## **SUMMARY**

Keywords: Composite materials, alumina, SiC, electromagnetic shielding (EMS), shielding effectiveness (SE)

Lately, ceramic matrix composite materials have been widely become applicable. One of the common uses of these materials in the electrical and electronic industry is the electrical resistivity required for insulator. However, number of studies regard to the ceramic matrix composite structures in the literature about the influence of electro-magnetic shielding is limited.

Therefore, in this study, commercial alumina having 5  $\mu\text{m}$  particle size was used as a matrix material and SiC used as second phase in three different size (40-80, 80-125 and 125-250  $\mu\text{m}$ ) and different content (30% and 40% by weight) to form ceramic particle reinforced ceramic matrix composite (CMC). After processing of composite materials, their properties; sintering shrinkage, density, porosity, hardness, bending strength were determined as well as electromagnetic shielding (EMS) properties were investigated. In the results obtained the shielding effectiveness (SE) of SiC-reinforced Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite materials was higher compared to alumina without any SiC addition. Increasing particle size of SiC has increased the shielding effectiveness of composite structure.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Seramik malzemeler kimyasal olarak birbirine bağı metalik ve metal olmayan elementlerden oluşan, organik olmayan malzemelerdir. Seramik malzemeler kristal yapılı, amorf veya yarı-kristal yapıda olabilirler.

Seramik malzemelerin özellikleri atomlar arası bağlarına göre değişir. Seramik malzemeler genel olarak, yüksek sıcaklık dayanımına sahip olmakla birlikte, düşük tokluk ve süneklikte olup sert ve kırılıgandır. Seramik malzemeler serbest elektron bulundurmadıklarından iyi birer elektriksel yalıtkan malzemedir. Seramikler yüksek erime noktasına sahip olup bu özellikleri nedeniyle iyi birer yüksek sıcaklık malzemesidir. Aynı zamanda ısı yalıtkan olan bu malzemeler ısı koruma amaçlı uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Güçlü atom bağları nedeniyle çok ağır ortamlarda bile kimyasal olarak kararlıdır. Bu özellikleri seramik malzemeleri birçok mühendislik tasarımı için vazgeçilmez kılar.

Mühendislik uygulamalarında kullanılan seramik malzemeler genellikle iki grupta toplanabilir: Geleneksel seramik malzemeler ve mühendislik seramik malzemeleri. Geleneksel seramikler üç temel bileşenden oluşur; kil, silika ve feldispat. Geleneksel seramiklere örnek olarak, yapı endüstrisinde kullanılan tuğla, fayans ve elektrik endüstrisinde kullanılan elektro porselenler örnek olarak gösterilebilir. Mühendislik seramikleri saf veya safı çok yakın olan, alüminyum oksit, silisyum karbür ve silisyum nitrür gibi metal oksit, karbür, nitrür veya borürlü bileşiklerdir [1].

Kullanılan mevcut malzemeler ilerleyen teknolojiyle yetersiz kalmakta, yüksek dayanım ve farklı özelliklerin birlikte kullanımını zorunlu kılmaktadır. Bu durum çeşitli uygulama alanlarına yönelik üstün özellikli malzemelere olan talebi arttırmaktadır.

Bu taleplerin karşılanması kompozit malzemelerin üretimini ve bu konudaki araştırmaları da hızlandırmıştır. Kompozit malzemeler iki veya daha fazla malzemelerin bir araya gelmesiyle daha üstün nitelikte yapıların elde edilmesidir [2].

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte teknolojik ürünlerin kullanımı artmıştır. Çevremizdeki akım taşıyan kablolar, elektrikli aletler, yüksek gerilim hatları, TV ve bilgisayarlar, radyo antenleri, cep telefonları ve diğerelektrik-elektronik ürünler elektromanyetik (EM) alan oluşturmakta ve enerji yayılımına neden olmaktadır.

Oluşan bu elektromanyetik alan ve enerji yayılımı canlılara zarar verebilmekte ve hatta elektromanyetik etkileşim (EMI) oluşturarak diğerelektronik ürünleri de olumsuz etkileyebilmektedir. Koruyucu gereksinimlere bağılı olarak çeşitli malzemeler belirli bir bölgede elektromanyetik enerjiyi sınırlamak ve diğersistemlerle etkileşimini önlemek amacıyla geliştirilmiştir [3].

Elektronik ve radyo frekans radyasyon kaynaklarının hızlı büyümesinden dolayı yüksek güvenilirlik talebi nedeniyle ticari, askeri, bilimsel elektronik cihaz üretimi ve iletişim alanlarında yapılan çalışmalarda elektromanyetik ekranlama etkinliğinin (EMSE) araştırılması ve geliştirilmesi konusunda hızlı bir artış söz konusudur [4].

EMI ekranlama günümüzde giderek daha önemli hale gelmiştir. Bu nedenle EMI ekranlama uygulamaları için malzemelerin geliştirilmesi daha fazla ilgi çekmektedir. EMI ekranlama için en yaygın kullanılan malzemeler metaller ve alaşımları ile iletken dolgu maddeleri ve dolu kompozitler olup, iletken kaplama ve kendinden iletken polimerler de bu kategoride yer almaktadır [3].

Seramik matris ve karbon matris kompozitlerde ise elektriksel bağlanabilirliğe yardımcı olan hafif ve orta iletkenliği nedeniyle ekranlama malzemesi olarak kullanım alanı oluşturulabilmesi amaçlı katkı ilaveleri kullanılmaktadır [5].

Bu çalışmada yüksek sıcaklık dayanımı ve kimyasal kararlılığa sahip alüminyum oksit malzemelerin aynı zamanda elektromanyetik ekranlama etkinliği de göstermesi

istenilen durumlar için kompozisyon ve malzeme geliştirme uygulaması araştırılmıştır.

Bu amaçla  $Al_2O_3$  içerisinde farklı boyut ve oranlarda SiC parçacıklar takviye edilerek, takviye malzemenin nitelikleri ve kompozisyon oranlarına bağlı olarak elde edilen  $Al_2O_3$  matris yapılı SiC parçacık takviyeli kompozit yapının EMSE özelliği ve mekaniksel davranışları test edilmiştir.



## **BÖLÜM 2. SERAMİK VE KOMPOZİT MALZEMELER**

### **2.1. Seramik Malzemeler**

İnorganik, doğal veya sentetik hammadde ya da hammadde karışımlarının belirlenen tane boyutuna öğütülüp uygun bir yöntemle şekillendirilme işleminden sonra dekorsuz veya dekorlu olarak, belirlenmiş bir ısı işlemle kullanıma uygun teknik özellikler kazandırılmış yapılarına seramik denir [6].

Genel olarak tanımlamak gerekirse, metalik ve organik esaslı olmayan tüm malzemeler seramik malzeme kapsamı içerisine girmektedir.

Seramik malzemelerin başlıca tercih edilme nedenleri aşağıda belirtilmiştir:

- Yüksek sıcaklıklarda dayanım,
- Kimyasal kararlılıklarının yüksek olması,
- Elektriksel olarak yalıtkan olmaları,
- Çok sert olmaları,
- Metallerle göre %40 mertebesine kadar hafif olmaları,
- Hammadde olarak bol miktarda bulunması ve genellikle metallerle kıyaslandığında ucuz olmaları,
- Pahalı ve stratejik malzemeleri ihtiyaç göstermemeleri,
- Erozyon ve aşınmaya karşı dayanıklı olmaları,
- Oksitlenmeye karşı dirençlerinin yüksek olması,
- Sürtünme katsayısının düşük olması,
- Basma dayanımlarının yüksek olması [7].

Seramik malzemeler kullanım alanlarına göre iki farklı grupta sınıflandırılmaktadır. Yer ve duvar karosu, emaye, mutfak gereçleri, sıhhi tesisat ürünleri, cam, refrakter

malzemeler ve çimento gibi malzemeleri içine alan grup geleneksel seramikler olarak adlandırılır.

Diğer bir grup olan ileri teknoloji seramikleri ise aşındırıcı ve kesici malzemeler, yüksek ısı ve elektriksel yalıtım malzemeleri, elektroseramikler (ferroelektrik, piezoelektrik), optik seramikler, manyetik seramikler (seramik magnetler, süperiletkenler) gibi malzemelerden oluşur [8].

### **2.1.1. Geleneksel seramikler**

Seramik, en basit tarifiyle, çok yüksek sıcaklıkta pişirilmiş toprak demektir. Seramiğin tarihi uygarlık tarihi kadar eskidir. İlk seramiğin M.Ö. 6000 yılında Anadolu'da üretildiği bilinmektedir. Çatalhöyük'teki kazılarda elde edilen seramik parçaları, aradan geçen 8000 yıl boyunca bozulmadan, günümüze ulaşmıştır. Bugün arkeologlar için, insanlık tarihi ile ilgili bilgilerin en önemli kaynakları da, seramik buluntularından elde edilmektedir. Asırlarca bozulmadan kalarak günümüze gelen seramikler üzerindeki yazı, resim ve semboller sayesinde, geçmiş uygarlıkların yaşam tarzları ve kültürleri hakkında bilgi edinmek mümkün olmaktadır. Hitit, Lidya, Frigya, Urartu ve Roma gibi uygarlıklardan kalan yapılar bilim adamları tarafından incelenerek bu eski uygarlıkların ve tarihin sırları çözülmektedir.

Günümüzde ise seramik, binaların iç ve dış yüzeylerinin, zeminlerinin kaplanmasında kullanılan önemli bir dekorasyon ve yapı ürünüdür. Doğadan elde edilen kil, kaolen, kuvars ve feldspat gibi hammaddelerin belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilir. Bu maddeler hamur ya da çamur haline getirilerek preslenir ve 1100°C üzeri gibi yüksek sıcaklıkta fırınlanır. Seramiklerin ön yüzü genellikle sır denilen koruyucu bir tabaka ile kaplanır. Seramik, doğal ve doğal yollarla elde edilen maddelerden yapıldığı için sağlıklıdır. Seramik, ekolojik (çevreye zarar vermeyen) bir üründür [9].

Seramik üretiminin geçmişi eski çağlara dayanmasına rağmen, seramik endüstrisindeki gelişmeler tarih boyunca devam etmiştir.

Geleneksel seramiklerin üretimi gerek miktar ve gerekse satış açısından önemli bir hacim tutmakla beraber son birkaç yüzyılda yeni seramikler geliştirilmiştir. Bu seramiklerin önemi, bir takım süper özelliklere sahip olmalarıdır. İşte bu seramikler günümüzde ince seramikler veya ileri teknoloji seramikleri olarak tanımlanmaktadır [7].

### **2.1.2. İleri teknoloji seramikleri**

İleri teknoloji seramikleri, geleneksel seramiklere göre temel olarak hammadde, üretim yöntemleri ve mikro yapı açısından önemli farklılıklar göstermektedir. Geleneksel seramikler doğal hammaddelerden üretilebilirken, ince seramiklerin hammaddesi, işlem görmüş doğal hammaddelerden veya sentezleme yöntemiyle yapay olarak hazırlanmaktadır.

Bunun nedeni, yapay hammaddelerin istenmeyen maddelerden arındırılmış olarak çok saf halde ve istenilen fiziksel özelliklerde üretilebilmeleridir. Yapay hammaddelerin üretiminde de çoğu kez ileri teknoloji yöntemleri kullanılmaktadır.

İleri teknoloji seramikleri geleneksel seramiklerden ayıran bir diğer önemli özellik ise ileri teknoloji seramiklerin pudra halinde çok ince tozlardan üretilmeleridir. Öyle ki günümüzde üretilen ince seramiklerde nano boyutta tozlar kullanılmakta ve böylece tamamen yoğun seramikler elde edilebilmektedir.

Bu nedenle, mekanik özellikleri son derece geliştirilebilmiştir. Bu parçaların tercih sebebi olan özellikleri, yüksek sıcaklık kararlılığı, yüksek mukavemet ve sertlik, iyi bir aşınma ve korozyon dayanımı, düşük yoğunluk ve yüksek elektrik direncidir [10].

## **2.2. Seramik Hammaddelerin Öğütülmesi**

Kırma, öğütme proseslerindeki temel hedef malzemeyi hedeflenen en yüksek boyuta veya ortalama tane boyutunun altına düşürerek spesifik yüzey büyüklüğünü artırmak ve aktifleşmesini sağlamaktır. Özellikle sinterlenmesi zor olan  $Al_2O_3$  gibi hammaddelerin iyi sinterlenebilmeleri için ince öğütülmeleri ön koşul olmaktadır [6].

Öğütmenin istenen şekilde gerçekleşebilmesi için dikkat edilmesi gereken bazı parametreler bulunmaktadır:

Hammadde değirmene belli ağırlıkta yüklenmeli ve su oranı ile iyi hesaplanmalıdır. Sulu öğütme yapılıyor ise değirmenin içinde, iç hacminin yaklaşık 1/3'ü kadar boşluk bırakılmalıdır. Değirmene yaklaşık öğütülecek kuru madde ağırlığı kadar bilye koymak gereklidir. Bilye büyüklüğü seçimi de önemli olmaktadır. Büyük, orta ve küçük boy bilyelerden yaklaşık 1/3 oranlarında alınarak tamamlanmalıdır.

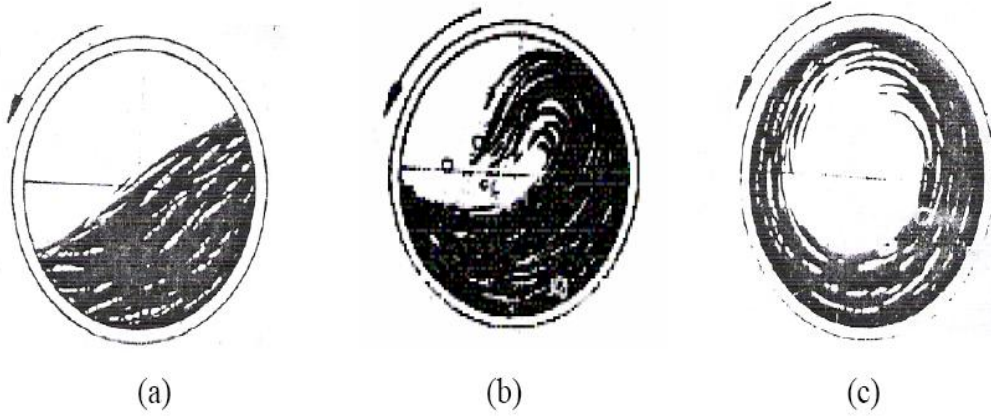
İyi bir öğütmenin sağlanabilmesindeki bir diğer önemli nokta ise değirmenlerin dönme hızlarının belirlenmesidir. Eğer değirmen yavaş dönerse, karışım ve bilyeler iç çeper boyunca bir süre yol alırlar. Ve sonra geri kayarlar. Bu sırada daha çok yuvarlak halde partiküller oluşur. Bu öğütmeye kaskat etkili öğütme denilmektedir ve değirmenin devir sayısı ( $n$ ),  $230/\sqrt{D}$  ile  $260/\sqrt{D}$  arasında tutulmakla elde edilebilen kaskat etkili öğütme, en uygun ve ekonomik olan öğütmedir. Daha hızlı bir dönmeye bilyeler merkez kaç kuvveti nedeniyle çeper boyunca bir süre yükselirler, ağırlıkları nedeniyle tekrar aşağıya düşerek çarparlar bu sırada daha çok köşeli tanecikler oluştururlar. Bu öğütme katarakt etkili öğütme olarak adlandırılmakta ve  $n = 300/\sqrt{D}$  olduğu zaman ortaya çıkmaktadır [11].

Değirmen kritik dönme sayısına ulaştığı zaman ise merkez kaç kuvvet nedeniyle değirmen bilyeleri ve öğütülecek maddeler, öğütme olmaksızın değirmen çeperine yapışır ve değirmen ile birlikte dönerler. Bu olay da  $n = 423/\sqrt{D}$  olduğu zaman ortaya çıkar (Şekil 2.1). Normal yaş öğütmede  $n$ ,  $250/\sqrt{D}$  ile  $280/\sqrt{D}$  değerleri arasında hesaplanır.

$n$ : değirmenin dönüşü (devir/dk)

250: sabit değer

$D$ : değirmen iç çapı (cm)



Şekil 2.1. (a) kaskat, (b) katarakt etkili öğütme, (c) kritik öğütme sayısı [11]

### 2.3. Seramik Ürünlerin Şekillendirilmesi

İleri teknoloji seramiklerinin şekillendirilmesinde değişik yöntemlerden yararlanılmaktadır. Şekillendirme yönteminin seçiminde, üretilecek parçanın boyutları, miktarı ve bazı fiziksel özellikleri göz önüne alınmaktadır. Diğer taraftan, şekillendirme prosesine bağlı olarak seramik tozlarına çeşitli katkı maddelerinin ilave edilmesi ile istenilen karışım hazırlanmaktadır. Seramik parçaların biçimlendirilmesinde kullanılan yöntemler, slip ve şerit döküm, kuru ve yaş presleme, soğuk ve sıcak izostatik presleme, ekstrüzyon ve enjeksiyonla kalıplama olarak sınıflandırılmaktadır [11].

Kusursuz bir ürün için tozların homojen olarak hazırlanması gereklidir. Şekillendirme prosesine bağlı olarak tozlara bir takım katkı maddeleri ilave edilebilir. Bunlar;

- Pişmemiş, yaş haldeki ürüne belli bir mukavemet kazandırmak amacı ile bağlayıcı ilave edilir
- Presleme esnasında tozlar arasındaki sürtünmeyi azaltmak amacı ile lübrikant (yağlayıcı) ilavesi yapılır
- Sinterleme amacı ile ilave edilen katkı maddeleri densifikasyonu artırır
- Tozlara uygulanan deflokulant (plastisiteyi ve ıslatma özelliklerini kontrol eden malzemeler) ve termoplastiklerin ilavesi belirli şekillendirme yöntemleri için gerekli kolaylığı sağlar.

Bağlayıcılar, organik ve inorganik esaslı olarak iki grupta toplanmaktadır. Organik bağlayıcılara örnek olarak bal mumu ve reçine verilebilmektedir. Ancak bu maddeler suda çözünmedikleri için ıslak proseslere uygun değildirler fakat erime veya enjeksiyonla şekillendirmede kullanılabilirler. İşlem sonunda organik bağlayıcı yanar. İnorganik bağlayıcılar ise nihai işlem sonunda yapıda kalır ve seramiğin bir bileşeni haline gelir [11].

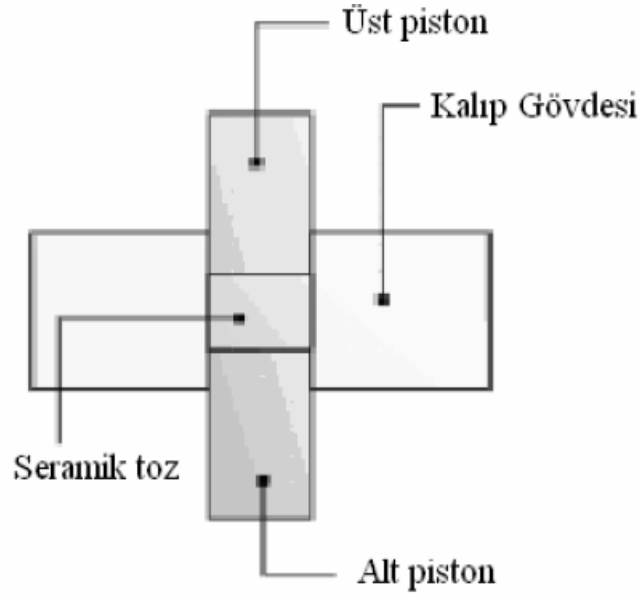
### **2.3.1. Şekillendirme yöntemleri**

İleri teknoloji seramiklerinden, elektronik seramikler ile strüktürel amaçlı kullanılan seramiklerin geleneksel yöntemler ile şekillendirilmesi mümkün olmamaktadır. Bu ürünlerin şekillendirilmesinde şerit döküm, sıcak izostatik presleme gibi yeni teknolojilerden yararlanılmaktadır [7].

#### **2.3.1.1. Kuru presleme**

Bu yöntem kalıp boşluğuna doldurulmuş tozlara tek yönlü veya çift yönlü olarak basınç uygulanarak şekillendirme esasına dayanmaktadır. Çeşitli yöntemler kullanılarak toz haline getirilmiş olan tozlar ve bu tozların şekillendirilmesini kolaylaştıracak katkı maddelerinin (bağlayıcı) karıştırılmasından oluşan seramik hammaddesi çelik kalıp boşluğuna yerleştirilir ve hidrolik veya mekanik preslerde alt ve/veya üst pistonlar aracılığı ile basınç uygulanarak istenen ürün şekli verilir. Kuru preslemede, presleme öncesi tozlar %1-8 arasında su + bağlayıcı karışımı ile nemlendirilerek preslenir [12].

Yer ve duvar kaplamaları, bazı refrakterler gibi geleneksel seramikler ve elektronik seramikler gibi ileri teknoloji seramikleri bu yöntemle üretilmektedirler [11].



Şekil 2.2. Kuru preslemenin şematik gösterimi [12]

### 2.3.1.2. Soğuk izostatik presleme [(CIP) cold isostatic pressing]

Soğuk izostatik presleme kuru pres yönteminin uygulanamadığı şekil ve kalitedeki ürünlerin şekillendirmesinde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, esnek bir malzemeden yapılan kalıp içerisine seramik hammaddenin doldurulması sonrasında hidrolik bir basınç uygulanarak malzemenin şekillendirilmesi esasına dayanmaktadır. Bu yöntemle üretim yapılmadan önce 30 MPa'dan daha düşük bir basınçta ön şekillendirmenin yapılması gerekmektedir [12].

### 2.3.1.3. Sıcak izostatik presleme [(HIP) hot isostatic pressing]

Bu yöntem prensip olarak soğuk izostatik preslemeye (CIP) benzemektedir. Fakat sıcak izostatik presleme (HIP) yönteminde eş eksenli uygulanan basınçla birlikte, basınç kabının ısıtılarak tozların daha az kuvvetle ve daha yüksek yoğunlukta şekillendirilmesi esas alınmaktadır. Yani bu yöntemde, toz kütlenin sıkıştırılarak şekillendirilmesi ve sinterlenmesi aynı anda gerçekleşmektedir. Ayrıca soğuk izostatik yöntem ile şekillendirmede basınç geçirici ortam olarak çeşitli sıvılar kullanılırken, sıcak izostatik presleme yönteminde inert gazlar kullanılmaktadır.

Sıcak izostatik preslemenin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Klasik yöntemlerde olduğu gibi gözenekleri ortadan kaldırabilmek için gereğinden yüksek sıcaklık ve basınç altında uzun süre malzemeyi tutmak yerine daha düşük sıcaklıklarda ve kısa sürede işlem tamamlanmaktadır. Bu sayede hem mikroyapının tane boyutu küçük olmakta hem de enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Günümüzde HIP prosesi, takım çeliklerinin, nükleer yakıtın, titanyum alaşımlarının, refrakter malzemelerin, seramik kompozitlerin ve süper alaşımların üretiminde kullanılmaktadır [12].

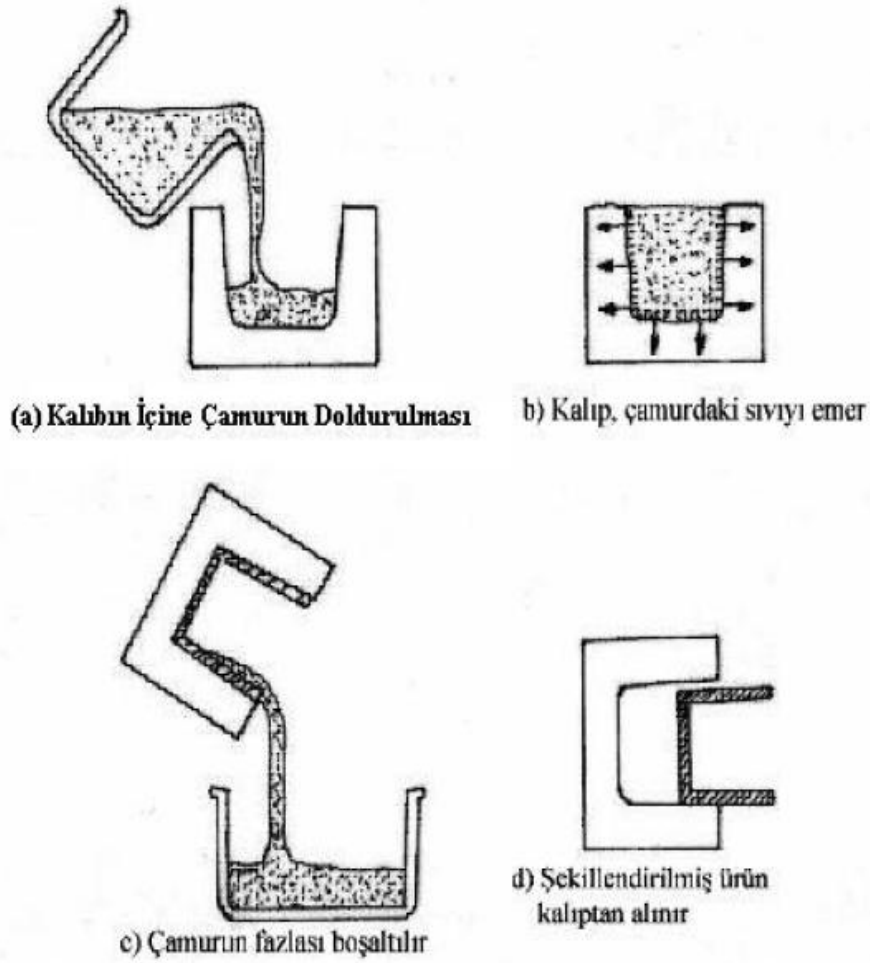
#### **2.3.1.4. Slip döküm**

Bu yöntem sadece seramik malzemelere has bir yöntem olup uzun yıllardır kullanılmaktadır. Slip döküm ile şekillendirme işleminde, ince seramik tozu %25-30 veya daha fazla su veya başka bir çözücü ile bilyeli değirmende karıştırılarak çamur haline getirilir ve hazırlanan bu sulu çamur (slip), alçı kalıplara dökülür. Çamurdaki su, gözenekli alçı kalıp tarafından emilir ve belirli bir süre geçtikten sonra fazla slip geriye boşaltılır ve daha sonra şekillendirilmiş malzeme kalıptan alınır.

Slip dökümde çamur; seramik toz, sıvı (su veya organik) ve prosese yardımcı olacak katkıları bilyeli öğütücü veya bir başka karıştırıcıda karıştırılarak hazırlanır. Bu şekilde en yüksek oranda katı içeren ve yeterli akıcılığa sahip çamur hazırlanmış olur. Slip hazırlamada kullanılan tozun tane iriliği ve dağılımı önemli faktörler olduğundan iyi kontrol edilmesi ve aglomerasyonun olmaması istenir. Bunu sağlamak için slip birkaç saat süreli ultrasonik işlemde geçirilmeli, iyi bir asıltı elde edilmesi için uygun elektrolit ilavesi yapılmalıdır.

Bu yöntem, basit bir yöntem olup esas olarak her boyut ve şekildeki parça üretimi için uygundur. Ancak, pişme esnasında çekme miktarı tipik olarak %25-30 mertebesinde olup; bu durum nihai ürünün boyut tahmininde güçlük yaratmaktadır. Slip dökümü hızlandırmak için basınç uygulanabilir. Bu durum basınçlı slip döküm adını alır. Bu yöntemle şekillendirilen parçalar daha az su içerdiğinden kuruma küçülmeleri daha az olmakta döküm süresi ise 1-2 saatten 20 dakikaya kadar düşmektedir [12].





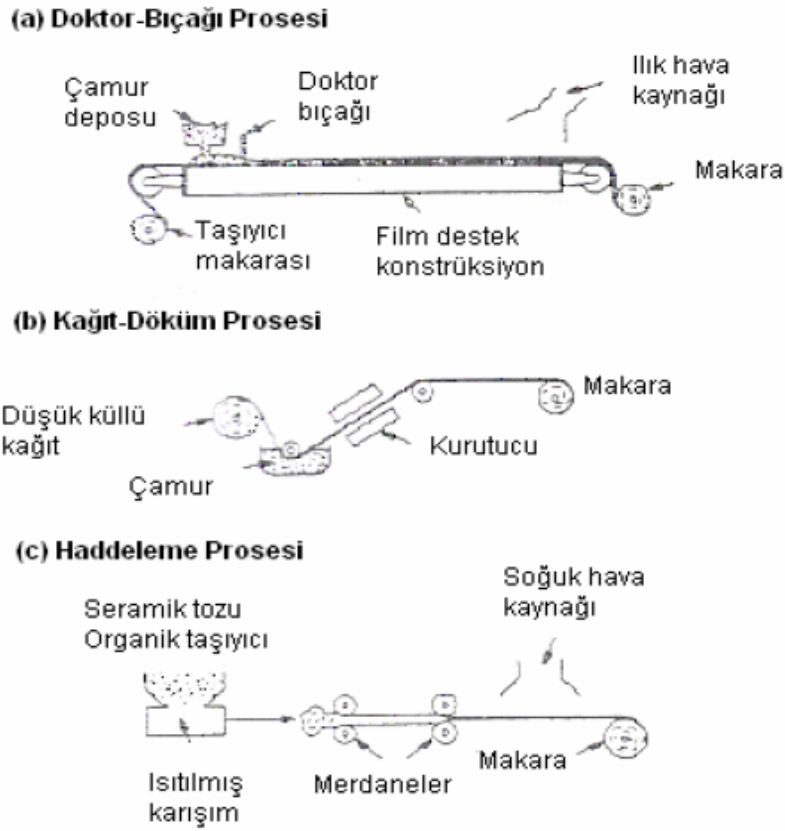
Şekil 2.3. Slip döküm [13]

### 2.3.1.5. Şerit döküm

İnce şerit veya plaka halinde seramik ürünler üretebilmek için genellikle şerit döküm yöntemi uygulanmaktadır. Şerit döküm elektronik seramik endüstrisinde kullanılan seramik malzeme üretiminde en önemli proseslerden birisidir. Bu prosesle ilgili gelişmeler 1970'den beri sürmektedir.

Şerit döküm yöntemi, inorganik seramik malzemenin sıvı içerisinde dağıldığı seramik çamurunun hazırlanmasıyla başlar. Burada sıvı faz solvent içerisinde seyretilmiş halde organik bağlayıcılar ile plastisiteyi düzenleyen katkı maddeleri içermektedir. Hazırlanan çamur, düz bir yüzeye yayılır ve solventin bünyeden uçurularak uzaklaşması sağlanır. Kurutulan şerit, yüzeyden sıyrılabılır ve kağıt veya deri gibi ele alınabilir.

Doktor bıçağı ile üretilen şeritler çok katmalı çip kapasitörlerde ve termistör, ferrit, piezoelektrikler gibi pasif elektronik bileşenlerde geniş ölçüde kullanılmaktadır. Kapasitörlerde seramik şeritler 0,025 mm kalınlığında olabilmektedir. Alüminyum oksit, berilyum oksit ve diğer dielektrik malzemelerden üretilen 0,25-1,00 mm kalınlığındaki seramik şeritler, mikro elektronik devrelerde taban olarak kullanılmaktadır bu seramik tabanlar 150 × 150 mm boyutlarında olabilmektedir [14].



Şekil 2.4. Şerit dökümle şekillendirme işlemi. (a), (b), (c) farklı boyutları gösterir [14]

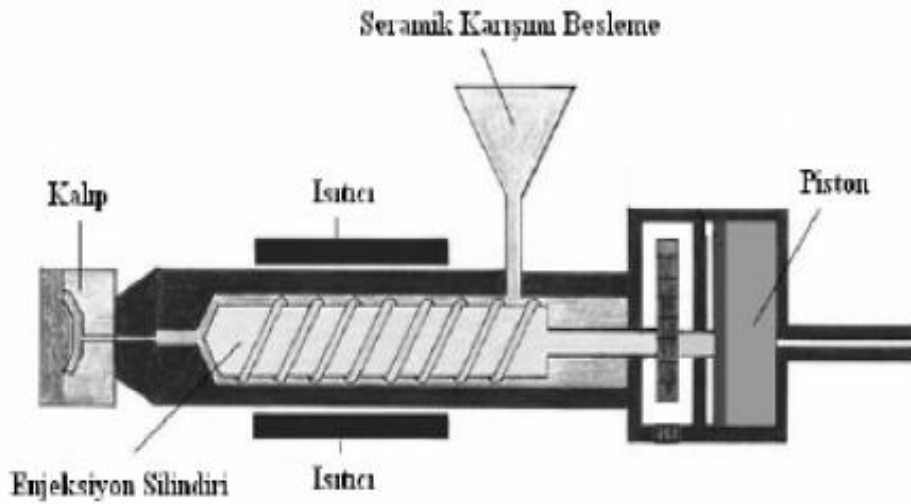
### 2.3.1.6. Enjeksiyon kalıpta şekillendirme

Enjeksiyonla kalıplama tekniği kompleks şekilli parçaların ekonomik ve hızlı olarak üretilmesi avantajını sağlayan bir yöntemdir. Üretimin hızı yüksek olup maliyeti düşüktür. Bu proseste toz boyutu mikronun altındadır. Bu yöntem, plastik endüstrisinde uzun yıllardan beri kullanılmakta olup; ilk seramik parça üretimi, 1937 yılında yapılmış ve büyük miktarlarda buji üretimi gerçekleştirilmiştir.

Enjeksiyon kalıplama yönteminin temel prensibi, seramik toz-bağlayıcı karışımının bağlayıcı eriyene kadar ısıtılması ve daha sonra parçanın istenen şekli aldığı ve yeniden katılaştığı bir kalıp boşluğu içerisine basınçla doldurulmasıdır. Doldurulmuş kalıbın soğutulması ile katılaştırılan polimer-seramik karışımından polimerin kontrollü şartlar altında uzaklaştırılması ile sinterlemeye hazır, kompleks son şekilli parçalar elde edilmektedir (Şekil 2.5).

Enjeksiyonla kalıplama yöntemi ile malzeme üretim kademeleri şöyle sıralanmaktadır;

- Seramik tozun hazırlanması ve bağlayıcı oranının belirlenmesi
- Homojen bir toz/bağlayıcı karışımının hazırlanması
- Enjeksiyon kalıplama işleminin uygulanması
- Şekillendirilmiş parçadan bağlayıcının uzaklaştırılması
- Parçanın sinterlenmesi [12].



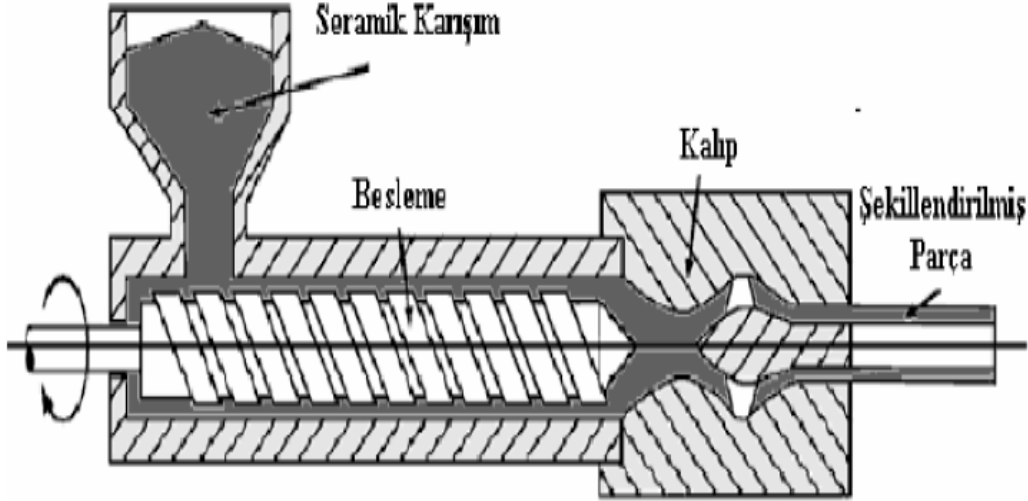
Şekil 2.5. Enjeksiyon kalıpta şekillendirme [12]

### 2.3.1.7. Ekstrüzyon

Bu yöntem genellikle uzunluğu genişliğinden fazla olan çubuk veya tüp gibi seramik parçaların şekillendirilmesinde kullanılır. Seramik toz, bağlayıcı, yağlayıcı, dağıtıcı ve diğer katkı maddeleri içeren ekstrüzyon çamuru hazırlanır.

Bağlayıcılar sulu veya organik sistemlerden oluşur. Seramik tozları, yeterli plastisiteyi sağlamak amacı ile %25-30 mertebesinde organik bağlayıcı eklenerek

yapışkan bir hale getirilir ve nem ayarı yapıldıktan sonra karışım iyice karıştırılır, sonra uygun şekildeki kalıptan ekstrüze edilir.



Şekil 2.6. Ekstrüzyon ile şekillendirme [12]

## 2.4. Seramik Ürünlerin Kurutulması Ve Pişirilmesi

### 2.4.1. Kurutma işlemi

Seramik malzemelerde;

- Fiziksel su (şekillendirme amacıyla ilave edilen su)
- Kimyasal su (kimyasal formülde bulunan su,  $Al_2O_3SiO_2.nH_2O$ )

olmak üzere iki çeşit su bulunur.

Seramiklerin şekillendirilmesine yardımcı olmak amacıyla seramik hammaddelerine genellikle su ilave edilir ve bu suya fiziksel su denir. Kullanılan hammaddenin cinsine ve şekillendirme yöntemine bağlı olarak kuru preslemede %1-8 ve slip dökümde %25-30 ve üzerinde su ilave edilir.

Eğer pişme öncesi kurutma işlemi yapılmazsa bünyede bulunan nem pişme sırasında ürünün çatlamasına neden olur. Bu nedenle şekillendirilmiş parçalar yüksek sıcaklıkta yapılacak pişme işleminden önce mutlaka 80-110°C sıcaklığında kurutularak yapıda mevcut bulunan fiziksel su giderilir [12].

### 2.4.2. Sinterleme

Sinterleme, yüksek sıcaklıklara ısıtıldığında taneciklerin birbiriyle bağlanmasıdır. Mikroyapısal ölçekte bu bağ kurma, taneciklerin birbirleriyle temas ettiği noktalarda gelişen koherent boyunların meydana gelmesiyle oluşur [15].

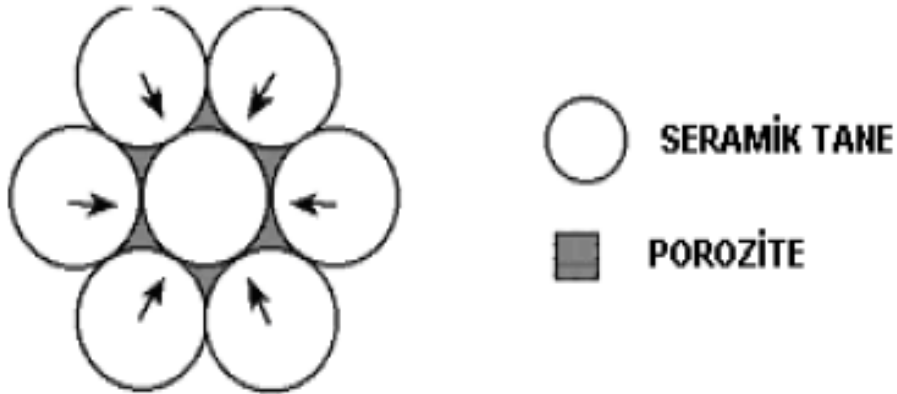
Farklı bileşime sahip malzemeler farklı sıcaklıklarda sinterlenmektedir. Sinterleme sıcaklığı, ergime sıcaklığından daima daha düşüktür. Tek bir malzemedan oluşan tek bileşenli sistemlerde sinterleme sıcaklığı, malzemenin ergime sıcaklığının yaklaşık 0,8 katıdır. Çok bileşenli sistemlerde ise ergime sıcaklığı, bileşimdeki en düşük ergime sıcaklığına sahip malzemenin ergime sıcaklığının hemen altındadır. Tamman sıcaklığı, ilk sinterlemenin başladığı sıcaklıktır. Bu sıcaklıkta atomlar harekete geçer ve difüzyon başlar. Kristal yapıda bozunmanın meydana gelmesiyle beraber ilk sıvılaşma da yine bu sıcaklıkta başlar. Tamman sıcaklığı, malzemenin ergime sıcaklığının yaklaşık 0,53 katıdır.

Sinterleme olayı Tamman sıcaklığı ile başlamasına rağmen sinterleme sıcaklığı bu noktanın üzerinde seçilmelidir. Örneğin alüminanın ( $Al_2O_3$ ) ergime sıcaklığı  $2050^{\circ}C$ , Tamman sıcaklığı  $1086^{\circ}C$  ve sinterleme sıcaklığı da yaklaşık  $1600^{\circ}C$ 'dir [12].

### 2.4.3. Sinterlemenin oluşum süreçleri

Pişme sırasında sıcaklığın artması ile difüzyon hızlanarak birbiri ile temas halinde olan tozlar arasında özellikle yüzeyde yer alan karşılıklı atom difüzyonu sonucu tozlar birbirine kenetlenir. Bu kenetlenme aşamasında tozlar aralarında boyun oluştururlar. Tozların bir araya gelerek sık yapı oluşturması ile gözenek miktarı azalır ve yoğunlaşma sağlanır. Bu sırada porların şekilleri de küreleşir. İdeal bir sinterleme olması durumunda gözenek tamamen yok olur ve malzeme kompakt bir kütle haline gelir.

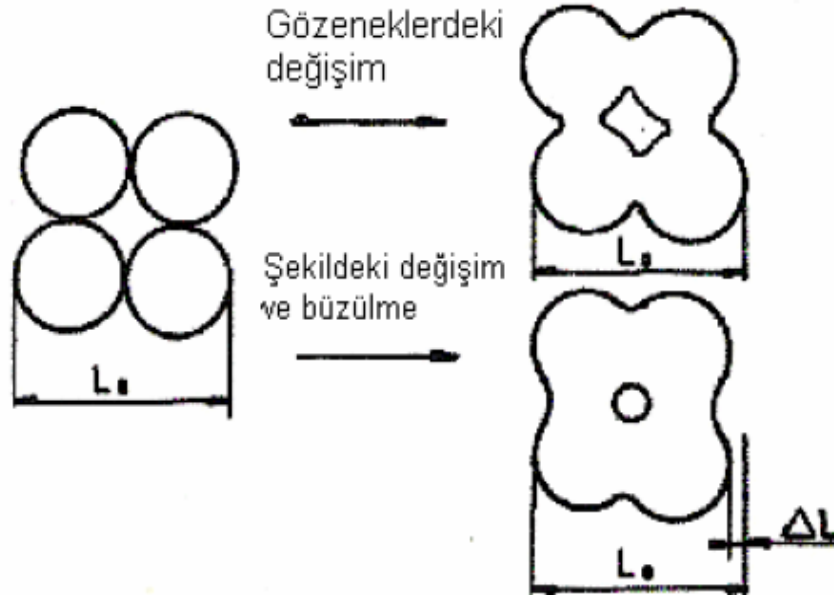
## ŞEKİLLENDİRİLMİŞ MALZEME



Şekil 2.7. Şekillendirme sonrası seramik malzemedeki gözenekler (porlar) [12]

Katı hal sinterleme prosesi için kabul edilen sinterleme oluşum süreçleri genel olarak üç ana alt grup altında toplanabilir.

1. Aşama: Bu aşamada toz partikülleri birbirinden bağımsızdır. Öncelikle partiküller arasındaki temas boyun olarak adlandırılan sinter köprülerine dönüşür. Oluşan bu köprü ile iki partikül arasındaki temas düzlemlerinde tane sınırı oluşumaya başlar. Partiküllerin merkezleri çok küçük bir miktar birbirlerine yaklaşır. (Hacimsel daralma sınırlıdır.)
2. Aşama: Boşluk ağı oluşumu düzenli bir şekilde gerçekleşir ve yeni mikro yapı oluşumuna izin veren tane büyümesi meydana gelir. Gözenekler parça yüzeyine kadar birbiri ile bağlantılıdır. En fazla boyutsal küçülme bu aşamada görülmektedir.
3. Aşama: Bu aşamada kapalı gözenek oranı hızla azalarak birbirinden izole edilen gözenekler küresel şekil kazanmaya başlar. Eğer gözenekler içerisinde hapsolmuş ve dışarıya çıkması (difüz olması) mümkün olmayan gaz varsa ve gözenekteki gazın basıncı ile yüzey geriniminden doğan basınç denge halini almış ise, sinterlenmiş yapıda teorik yoğunluğa çıkmak mümkün olamamaktadır. Ancak vakumla sinterleme yönteminde olduğu gibi gözeneklerde gaz yok ise veya gözenekteki gaz ana yapıdan kolayca difüz olup sistemden uzaklaşabiliyorsa yoğunluk artışı devam eder ve % 100 teorik yoğunluğa ulaşılabilir [16].



Şekil 2.8. Sinterleme esnasında, tozların birbirine kenetlenmesi ve gözenek miktarı ile morfolojisinin değişimi [11]

#### 2.4.4. Sinterleme mekanizmaları

Sinterleme mekanizması, tamamen malzemenin taşınımına dayanmaktadır. Genel olarak atomların yayılması (yüzey ve hacimsel) ile vizkoz akışı kapsar. Malzemenin taşınımını kolaylaştırmak için uygulanacak işlem ancak yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilebilir. Sinterlemeyi sağlayan itici güç, serbest enerjideki azalmadır.

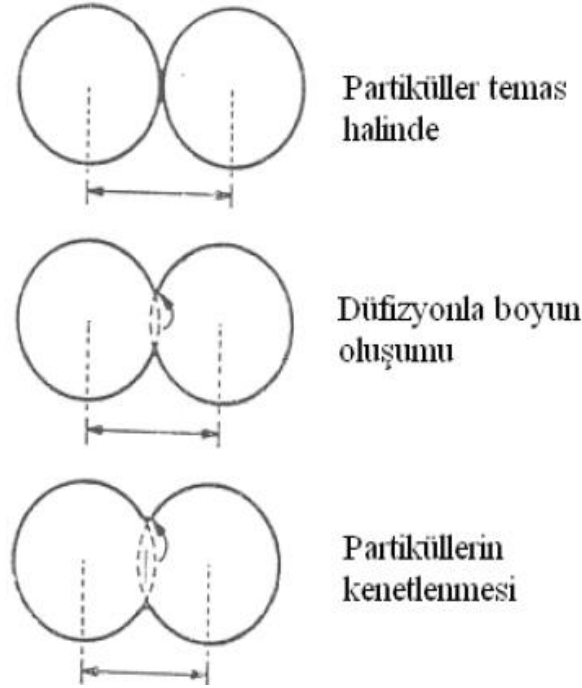
Seramik malzemelerde dört farklı sinterleme mekanizması bulunmaktadır:

- Katı hal sinterlemesi,
- Sıvı faz sinterlemesi,
- Reaktif sıvı sinterlemesi ve
- Buhar faz sinterlemesi [7].

##### 2.4.4.1. Katı hal sinterlemesi

Katı hal sinterlemesi yayınma (difüzyon) ile malzeme taşınımını içerir. Bu proses için gerekli itici güç, boyun bölgesi ile tozun yüzeyi arasında meydana gelen serbest enerji veya kimyasal potansiyel farktır.

Şekil 2.9’da katı hal sinterlemesinde malzemenin taşınımı şematik olarak görülmektedir. Atomların yayınması ile atom boşluklarının yayınması zıt yöndedir. Boyun bölgesi, atom boşlukları için kaynak ve tozların yüzeyleri de göç bölgesidir [14].



Şekil 2.9. Sinterleme esnasında, katı-hal malzeme taşınımı sonucu, boyun teşekkülü ile tozların kenetlenmesi [14]

#### 2.4.4.2. Sıvı faz sinterlemesi

Endüstriyel uygulamalarda ekonomiklik çok önemli olduğu için tozlara çeşitli katkıları yapılarak sinterleme sıcaklığı düşürülmekte ve sinterleme işlemi hızlandırılmaktadır. Bu nedenle yapıya sinterlenmek istenen tozdan daha düşük sıcaklıkta eriyen bir katkı ilavesi yapılmaktadır. Böylece eriyen ikinci fazın yardımıyla tozlar daha düşük sıcaklıkta hızlı olarak sinterlenebilmektedir. Bu tür sinterleme yöntemi sıvı faz sinterlenmesi olarak adlandırılmaktadır.

Sıvı faz sinterlemesinin üç temel aşaması vardır. Birinci aşamada (tekrar düzenlenme veya sıvı akışı) sıvı faz içinde taneler önemli ölçülerde hareket etmektedir. Bu hareket tanelerin tekrar düzenlenmesini ve yoğunlaşmasını sağlamaktadır. Sıvı faz, parçadaki gözeneklerin içine akar ve katı taneleri taşıyarak bu boşlukların yerini alır.



İkinci aşama (çözünme ve tekrar çökelme) sadece katı fazın sıvı faz içerisinde çözünürlüğü varsa olur. Bu aşamada yoğunlaşma olur; fakat yoğunlaşma hızı birinci aşamaya göre daha azdır. Büyük tozlar daha fazla büyüyerek yuvarlaklaşırken, küçük tozlar çözünerek kaybolurlar. Malzeme taşınımı, sıvı faz içerisinde yayınma ile hızlı bir şekilde olur.

Üçüncü aşama; katı faz bağlanması adı verilebilir. Eğer sıvı fazın katı fazı ıslatması tamamlanmamışsa arada sıvı faz olmadan katı taneler birbirine değerek katı fazın bir iskelet oluşturmasına neden olabilmektedir. Eğer bu durum sinterlemenin ilk aşamasında oluşursa birinci aşamayı engeller ve hızlı yoğunlaşmayı önler. Katı faz sinterlenmesi ve ikinci aşamayla yoğunlaşmanın çok yavaş olacağı da bu durum anlaşılmaktadır.

Eğer sıvı faz, katı fazı ıslatmazsa; sıvı faz, sinterlenen parçalardan dışarı çıkabilir ve parçanın üzerinde damlacıklar halinde görünür, buna terleme adı verilir. Eğer, sinterleme sıcaklığında sıvı katı içerisinde çözünüyorsa, maksimum çözünürlük durumunda sıvı faz miktarı azalır ve tükenir. Eğer bu çok çabuk olursa, gerçek sıvı faz sinterlenmesi ve yoğunlaşması olmaz. Sıvı-faz sinterlenmesi, birçok endüstriyel ve ticari uygulamalarda kullanılan metalik ve seramik ürünlerinin fabrikasyonunda sıkça kullanılan bir üretim metodudur.

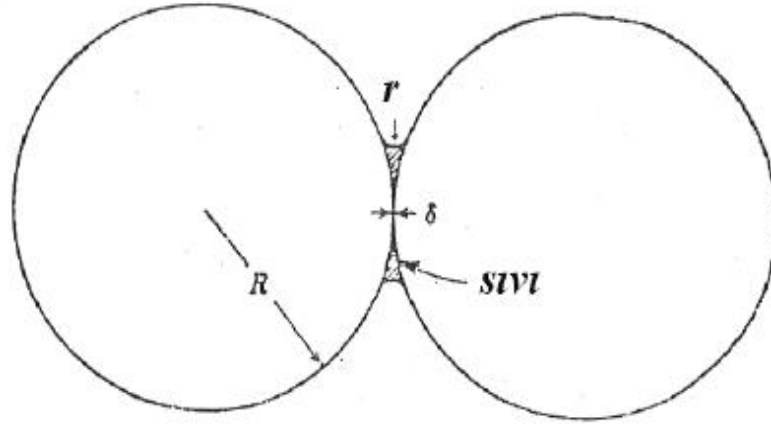
Bu üretim metodunun başlıca avantajları;

- Düşük sinterleme sıcaklığı,
- Hızlı yoğunlaşma ve homojenleşme,
- Yüksek nihai yoğunluklardır [10].

#### **2.4.4.3. Reaktif sıvı sinterlemesi**

Sıvı faz sinterlenmesine benzerdir. Fakat sıvı, ya bileşimini değiştirir veya ayrılarak kaybolur. Bu proses, sinterleme sıcaklığında, katı fazın sıvı içerisinde sınırlı miktarda çözünebildiği sistemlere uygulanabilir. Bu proseste, sıvı fazdaki negatif eğrilik yarıçapı, katı tozlara kıyasla negatif basınç yaratır ve tozları bir arada tutar (Şekil 2.10).

Burada  $\delta$  bölgesinde oluşan basma kuvvetleri sıvı içerisinde katının çözünürlüğünü arttırmaktadır. Böylece tozlar arasındaki malzeme çözünerek birbirine kenetlenmektedir [14].



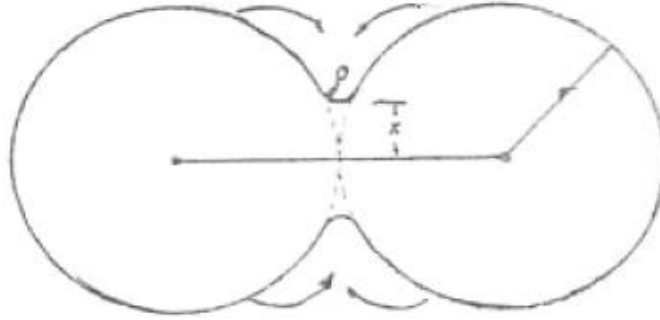
Şekil 2.10. Tozlar arasında bulunan sıvı damlası, temas bölgesinde basma kuvvetlerine neden olarak tozları bir arada tutar [14]

#### 2.4.4.4. Buhar faz sinterlemesi

Buhar faz sinterlenmesi sadece birkaç sistemde önem taşır. Bu prosesi iten güç, yüzey eğriliği nedeniyle buhar basıncında meydana gelen farktır. Tozların yüzeyi, pozitif eğrilik yarıçapına sahip olup buhar basıncı yüksektir. Diğer taraftan, iki tozun birbirine temas ettiği boyun bölgesinde eğrilik çapı negatif olup, buhar basıncı düşüktür.

Şekil 2.11’de buharlaşma ve çökme ile meydana gelen sinterlemenin ilk kademeleri görülmektedir. Bu proste, porların morfolojisi değişebilir. Fakat densifikasyon gerçekleşmez [14].

### Malzeme transferi



Şekil 2.11. Buharlaşıma-kondensasyonla sinterlemede ilk aşamalar [14]

### 2.5. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler, iki veya daha fazla farklı özellikte malzemenin makro ölçüde bir araya getirilmesiyle üretilir. Bu tasarım kompozitin mikro yapı bileşenlerinden her birinin arzu edilen en iyi özelliklerini sisteme kazandıracak şekilde yapılmalıdır. Böylece malzemenin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanır. Örneğin mukavemet, mukavemet/yoğunluk, elektrik ve ısı iletkenlik, yorulma ömrü, aşınma direnci, korozyon direnci, yüksek sıcaklık mekanik özellikleri kompozit malzeme sistemleri kullanılarak geliştirilebilecek özelliklerdir.

Kısaca kompozit malzemeler belirli bir amaca en uygun özelliklere sahip malzemeler uygun tekniklerle bir araya getirilirler.

Yapı bileşenlerinin farklı karakteristik özellikleri kompozit malzeme yapısında bütünleşir. Bu nedenle kompozitin sahip olduğu özelliklerin tümünü tek bir yapı bileşenlerinde görmek mümkün değildir. Kompozit malzemelerde amaç fiziksel, mekanik veya kimyasal özelliklerden herhangi birinin veya birkaçının geliştirilmesine yönelik olabilir. Kompozit sistem matris fazı ile fiber, visker veya partikül şeklinde olabilecek takviye fazı olmak üzere iki bileşenden ibarettir. Kompozit karakteri, matris fazının polimer, metal veya seramik olusuna göre isimlendirilir.

Kompozit malzemelerin avantajları yüksek dayanım, ağırlık azalması, uzun ömür, yüksek korozyon direnci, azaltılabilen veya arttırılabilen termal ve elektriksel iletkenlikleri olarak özetlenebilir. Bu malzemelerin dezavantajları ise yüksek hammadde ve işleme maliyeti, değişken özelliklerde olası zayıflıklar, düşük tokluk, geri dönüşümünün olmaması ve analiz yapımındaki zorluklar olarak öne çıkmaktadır [17].

### **2.5.1. Kompozit malzeme türleri**

Kompozit malzeme türleri şunlardır;

- Metal Matris Kompozitler
- Polimer Matris Kompozitler
- Seramik Matris Kompozitler

#### **2.5.1.1. Metal matris kompozitler**

Kompoziti sürekli bir arada tutan ve bu bütünlük içinde lifle birlikte malzemenin özelliklerini belirleyen matris malzemesi olarak metaller, taşıyıcılık açısından polimer matris malzemelerle kıyaslandığında yüksek dayanıma sahiptirler. Üretimleri zor olup maliyeti yüksek olmasına rağmen metal matris malzemesi kompozitin tokluğunu önemli ölçüde arttırdığı ve yüksek sıcaklık etkisindeki uygulamalara olanak verdiği için kullanım alanları mevcuttur. Metallerin matris malzemesi olarak kullanılması, yine metal olan birçok ince liflerin üretimiyle başlamıştır.

Kompozit üretiminde metal matris malzemesi olarak bakır alüminyum, titan, nikel, gümüş gibi metaller önce gelmektedir. Matris malzemesi erimiş halde, moleküler yapıda, levha veya ince tabaka şeklinde olabilmekte ve kullanılan üretim teknolojisine bağlı olarak dökme, karıştırma, presleme, elektroliz yoluyla kaplama, haddeleme yöntemleriyle liflerle birleştirilmektedir. Matris yapı içerisinde kullanılacak olan yüksek dayanımlı lif, tel ve kılların zedelenmemesi, tahrip olmaması sağlanmalıdır.

Metal matris içinde en kolay kullanılabilen malzeme elyaf bor ve borsic elyafıdır. Bu kompozit malzeme 300°C sıcaklığa kadar oda sıcaklığında özelliğini korumaktadır. Burada kompozitin üretimi 450-500°C sıcaklıkta, sıcak presleme yöntemiyle yapılır [18].

Bir metalik faz içerisinde bazı takviye malzemeleri kullanılarak ve eritme, vakum emdirme, sıcak presleme, difüzyon kaynağı gibi ileri yöntemler uygulanarak metalik matrisli kompozit malzemeler elde edilmektedir. Bu malzemeler daha çok uzay ve havacılık alanlarında, mesela uzay teleskopu, platform taşıyıcı parçalar, uzay haberleşme cihazlarının reflektör ve destek parçaları gibi yerlerde kullanılır [19].

### 2.5.1.2. Polimer matris kompozitler

Liflerle pekiştirilmiş polimer kompozitler endüstride çok geniş kullanım alanına sahiptir. Pekiştirici olarak cam, karbon kevlar ve boron lifler kullanılır. Tablo 2.1'de pekiştirici liflerin özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.1. Pekiştirici liflerin özellikleri [19]

Malzeme	Özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Çekme mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	Elastisite modülü (N/mm <sup>2</sup> )
Cam lifi	2,54	2410	70000
Karbon lifi	1,75	3100	220000
Kevlar lifi	1,46	3600	124000

Polimer kompozitlerde kullanılan en önemli bağlayıcı malzeme polyeester ve epoksidir. Pekiştirici liflerin miktarı arttıkça kompozitin mukavemeti yükselir. Polimer kompozitlerin en önemli özellikleri yüksek özgül mukavemet (mukavemet/özgül ağırlık) ve özgül elastisite modülüdür.

Örneğin yüksek mukavemetli çeliklerde özgül mukavemetin 110 Nm/gr olmasına karşın cam lifi- polyeesterlerde 620 Nm/gr'dır. Diğer taraftan karbon lifi epoksidede 700 Nm/gr ve kevlar epoksidede 886 Nm/gr'dır. Ayrıca karbon liflerinin özgül elastisite

modülü alüminyumun özgül elastisite modülünün 5 katı kadardır. Bu üstünlüklerinden dolayı polimer kompozitler uçak ve uzay endüstrisinde, alüminyum alaşımları yerine tercih edilmektedirler [19].

Tablo 2.2. Lifli kompozitlerin özellikleri [19]

Malzeme	Özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Çekme mukavemet (N/mm <sup>2</sup> )	Elastik mukavemet (N/mm <sup>2</sup> )
Cam lifi – polyester	1,5-2,1	200-340	55000-130000
Karbon lifi – epoksi	1,5-1,8	1860	145000
Kevlar – epoksi	2,36	2240	76000
Boron lifi - epoksi	1,4	1240	176000

### 2.5.1.3. Seramik matris kompozitler

Seramik malzemeler, yüksek sıcaklığa karşı dayanıklılık, hafiflik, kimyasal kararlılık, yüksek basma dayanımı gibi özelliklere sahip olmaları dolayısıyla birçok alanda tercih edilmektedirler. Fakat bu malzemelerin yük taşıma kapasitesi, üretim sırasında oluşan çatlak türünde kusurlarla veya kullanımı gereği içerdiği süreksizliklerle önemli ölçüde azalmaktadır. Normal çalışma koşulları altında bu çatlaklar büyüyerek önemli hasarlara yol açabilmektedirler.

Örneğin alümina seramik malzemesi 1550°C'ye kadar kullanılabilirdiği halde, bünyesinde bulunan bir çatlağın ilerlemesi için gerekli gerilme şiddeti çarpanı değeri ( $K_{IC}$ ) 1-3 MPa $\sqrt{m}$ 'dir. Metallere göre yapı kusurlarına karşı çok hassas olan seramiklerin kırılma tokluğunu iyileştirmek üzere çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda seramik matris, tek doğrultulu sürekli lifler, kısa lifler veya parçacıklar ile kuvvetlendirilerek tokluk davranışı incelenmiştir [19].

### 2.5.2. Kompozit malzemelerin avantaj ve dezavantajları

Kompozitler çeşitli avantaj ve dezavantajlara sahiptirler.

Avantajları;

- Ağırlık azalması (yüksek dayanım (veya sıkılık)/ağırlık oranı),
- Çok farklı yükleme koşulları (fiber-fiber),
- Uzun ömür (yüksek korozyon direnci),
- Arttırılmış (veya azaltılmış) termal veya elektrik iletkenlikleridir.

Dezavantajları ise;

- Yüksek hammadde ve işleme maliyeti,
- Değişken özelliklerde olası zayıflıklar,
- Düşük tokluk,
- Geri dönüşümünün olmaması,
- Birleştirmede görülen zorluklar [17]

### 2.5.3. Kompozit malzeme kullanım alanları

- Elektrik ve Elektronik Sektörü: Antenler, kablolar, devre elemanlarına destek olarak...
- İnşaat Sektörü: Yüzme havuzlarında, bacalarda, beton kalıplarda, profillerde...
- Karayolu Taşımacılığı Sektörü: Vites şaftları, süspansiyonlarda, tankerlerde...
- Raylı Taşımacılık Sektörü: Vagonlarda, havalandırmalarda, kapı, koltuk...
- Deniz Taşımacılığı Sektörü: Kurtarma uçaklarında, devriye botlarında...
- Kablo Taşımacılığı Sektöründe: Teleferik kabinlerinde, telekabinlerde...
- Hava Taşımacılığı Sektörü: Helikopter pervaneleri, uçak fren sistemlerinde...
- Uzay Taşımacılığı Sektörü: Roket itiş takımlarında, atmosfer çıkış kalkanlarında...
- Spor ve Eğlence Sektörü: Tenis takımları, balık oltaları, kayaklar, golf sopaları...
- Ayrıca katalizör ve katalizör destek malzemesi olarak kullanılırlar [20].

## **BÖLÜM 3. ALÜMİNA VE SİLİSYUM KARBÜR**

### **3.1. Alümina**

Alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ) yaygın kullanım alanına sahip çok önemli bir oksit seramik olup yıllık üretim yaklaşık 35 milyon tonun üzerindedir (1993 verileri). Bu üretimin yaklaşık %93'ü alüminyum metali üretiminde kullanılmaktadır. Kalan miktar ise aşındırıcı ve parlaticı malzeme, refrakter malzeme ve çeşitli seramiklerin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır.

%99,99 saflıkta olan tozlar hariç tüm  $Al_2O_3$  tozları Bayer Süreci ile boksit mineralinden üretilmektedir. Bu işlemde ıslak alkali yöntemi kullanılmaktadır. Yöntemde sodyum alüminat oluşturmak suretiyle  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  ve diğer oksitlerden ayrıştırılmaktadır. Hidroliz yöntemi ile sodyum alüminat  $Al(OH)_3$ 'te ve bu ise daha sonra kalsinasyon işlemi ile  $Al_2O_3$ 'e dönüştürülmektedir.

Alüminyum oksit seramikler yaygın kullanım alanına sahip olup dayanımlarını %90 oranında  $1100^{\circ}C$ 'nin üzerlerinde sıcaklıklarda dahi koruyabilmektedirler. Bu nedenle kesme takımlarında, aşındırıcılarda, yüksek sıcaklıklarda çalışan yatak ve burçlar gibi çok çeşitli mekaniksel parçalarda kullanılmaktadır [16].

#### **3.1.1. Dünya'da ve Türkiye'de alümina üretimi**

1938 yılından önce alüminyumun elde edildiği boksit cevherinin Türkiye yeraltı zenginlikleri içinde olduğu bilinmiyordu. 1935 yılında MTA'nın kuruluşundan sonra, 1938 yılında Antalya Akseki bölgesinden alınan numuneler incelenmiştir. 1962-1965 yılları arasında yapılan ayrıntılı jeolojik sondaj, galeri, kuyu ve yarma çalışmaları, Konya Seydişehir boksitlerinin böhmitik tip ve yeterli rezervde olduğunu göstermiş ve bölgede birincil alüminyum üretim tesisinin kurulmasının ekonomik olacağı



anlaşılmıştır. Türkiye’de 60 milyon ton boksit bulunduğu tespit edilmiştir. Boksit cevheri dünyada ilk 1885 yılında Paris’te keşfedilmiştir. Birincil alüminyum üretimi ilk defa 1888’de Fransız Herult ve Amerikan Hall’in buldukları yöntemle elde edilmiştir.

Ülkemizin tek birincil alüminyum üreticisi ETİBANK’ın Seydişehir Alüminyum İşletmeleridir. Bu bölgedeki boksit cevherini işlemek için 9 Mayıs 1967 tarihinde ETİBANK Genel Müdürlüğü ile Tyazpromaxport (SSCB) arasında imzalanan anlaşma ile 60.000 ton/yıl kapasiteli birincil alüminyum fabrikasının kurulması çalışmaları başlamıştır. Fabrikada 13 Ekim 1969 tarihinde montaj çalışmaları başlamış ve Mart 1973 yılında Alümina Fabrikası devreye alınmıştır. Ayrıca Ağustos 1974’te 1. elektroliz hane, Ekim 1975’te 2. elektroliz hane, Aralık 1975’de 3. elektroliz hane, Ocak 1977’de 4. elektroliz hane, Mayıs 1974’te dökümhane, Şubat 1976-Mart 1979 arasında ise üniteleri tamamlanarak işletmeye alınmıştır. Alüminyumun ana cevheri olan boksit cevheri üretimi açık ocak işletmeciliği ile gerçekleştirilir. Dünya boksit üretimi son yıllarda 110-125 ton/yıl mertebesinde gerçekleşmiştir. Avusturalya ve Latin Amerika en büyük boksit üreticileri durumundadır [21].

### 3.1.2. Alüminanın özellikleri

Alümina, kristalografik olarak oksijen iyonlarının alüminyum iyonları tarafından sıkı hegzogonal olarak sarılması ile ifade edilebilir. Dış görünüş olarak beyaz bir tozudur. Ergime sıcaklığı 2050°C, kaynama noktası ise 2080°C olan alümina yüksek sıcaklıklarda kimyasal maddelere ve mekanik yüklere karşı en dayanıklı refrakter malzemelerden biridir. Alüminanın molekül ağırlığı 101,96 g/mol reaktif indeksi 1.765, oluşum serbest enerjisi ise -1582,4 kJ/mol’dür.

Alümina suda ve şayet iyi kalsine edilmişse hem mineral asitlerinde hem de bazlarda çözünmezler. Alümina, HF’ye karşı da dayanıklıdır. Sodyum karbonat, kostik soda ve sodyum peroksit saf alümina potalarda az tahribatla eritilebilir. 1700-1800°C gibi yüksek sıcaklıklarda flor gazı dışında bütün gazlara karşı direnç gösterir. Alümina oksitleyici ve redükleyici atmosferde 1900°C’ye kadar kullanılabilir [21].

Alümina ile hazırlanmış değişken seramik bünyelerin özellikleri partikül boyutu ve proses şartlarına dayanır. Korundum yapısı ve  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kararlı yapı olmasına rağmen diğer Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> modifikasyonları var olur ve görülebilir [14].

### 3.1.3. Alümina mineralleri

Bugün için tabiatta yaklaşık 250 cins alüminyum minerali bilinmektedir. Bunların %40'ını alüminyum silikatlar teşkil etmektedir. Alümina, çoğunlukla hidroksitlerin karışımından oluşan boksitten elde edilir. Boksit bir mineral ismi olmayıp gipsit, böhmit ve diaspor gibi hidroksit minerallerinin bir karışımıdır. Daha çok silikat ve oksit karışımları halinde ortaya çıkan silikat mineralleri ve korund çok sağlam yapılı bileşikler oldukları için alüminyum üretiminde kullanılamazlar. Birincil oluşumlar olarak tanımlanan silikat bileşimli kayalar meydana getiren minerallerin yüzey etkileri ile değişmeleri sırasında alüminyum üretimi için uygun olan ikincil mineraller oluşmaktadır. Çeşitli alüminyum mineralleri ve bunların özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir [14].

Tablo 3.1. Alüminyum mineralleri [14]

Adı	Formülü	%Al	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
<b>Boksit minareleri</b>			
Korund	$\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	52,9	100,0
Gibsit	$\gamma$ - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .3H <sub>2</sub> O	34,6	65,4
Diasporit	$\alpha$ - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .H <sub>2</sub> O	45,0	85,0
Böhmit	$\gamma$ - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .H <sub>2</sub> O	45,0	85,0
<b>Alunit</b>	K <sub>2</sub> O.3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .4SO <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O	19,6	85,0
<b>Alum Mineralleri</b>			
Alumojel	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .4SO <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O	15,8	29,8
Aluminit	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .SO <sub>3</sub> .9H <sub>2</sub> O	15,7	29,7
Kalinit	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .24H <sub>2</sub> O	5,7	10,8
Halotrikrit	FeSO <sub>4</sub> .Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .24H <sub>2</sub> O	5,8	11,0
<b>Diğer Mineraller</b>			
Andaluzit	Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>	33,3	62,9
Kiyanit	Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>	33,3	62,9
Silimanit	Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>	33,3	62,9
Kaolinit	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .2SiO <sub>2</sub> .H <sub>2</sub> O	20,9	39,5
Spinel	MgO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	38,0	71,8
Ortoklaz	K <sub>2</sub> O. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .6SiO <sub>2</sub>	9,7	18,3
Kriyolit	3NaF.AlF <sub>3</sub>	12,9	24,3
Topaz	Al <sub>2</sub> [Fe(OH) <sub>2</sub> ]SiO <sub>4</sub>	22,7	42,9
Beril	BeAl <sub>2</sub> (SiO <sub>3</sub> ) <sub>6</sub>	10,4	19,7
Staurilit	2Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub> .Fe(OH) <sub>2</sub>	26,0	49,0

### 3.1.5. Alüminanın kullanım alanları

Alüminanın %90'dan fazlası alüminyum metali üretiminde, geri kalan kısmı da aşındırıcı, refrakter ve kimyasal maddelerin yapımında kullanılmaktadır. Burada kullanılan alüminada yüksek saflık aranır. Alümina, aşınmaya karşı dirençli oluşu, sertliği ve mekanik dayanım nedeni ile öğütücü değirmenlerin bilyelerinde, tekstil endüstrisinde kesici takımlarda kullanılmaktadır. Ayrıca bu özellikleriyle merkezi ısıtma sistemlerinin sirkülasyon pompalarının yataklarında, otomobillerin soğuma sistemlerinde, zırh malzemesi olarak ve roket radonlarında da kullanılmaktadır. Alümina seramiklerden en iyi bilinen askeri uygulaması ise hafif balistik panel yüzeylerinin balistik dayanımını artırmak için alümina seramik plakalar ile kaplanmasıdır.

Yüksek mukavemet ve termal genişleme açısından buji izolatörleri olarak, sertlik ve aşındırıcı özellikleri açısından aşındırıcı toz olarak kullanılmaktadır. Alüminadan poroz ve yoğun ürünler yapılır. Poroz ürünler genellikle ergimiş alüminadan yapılır. Yeniden kristalleşmiş poroz olmayan alümina, ergimiş alüminadan daha saftır. Saf alümina, tamamen saydam olarak bazı cihazlarda kullanılmaktadır. Bunların dışında biyomalzeme olarak eklem ve diş protezlerinde de aynı özelliklerinden yararlanılmaktadır [13].

### 3.2. Silisyum Karbür

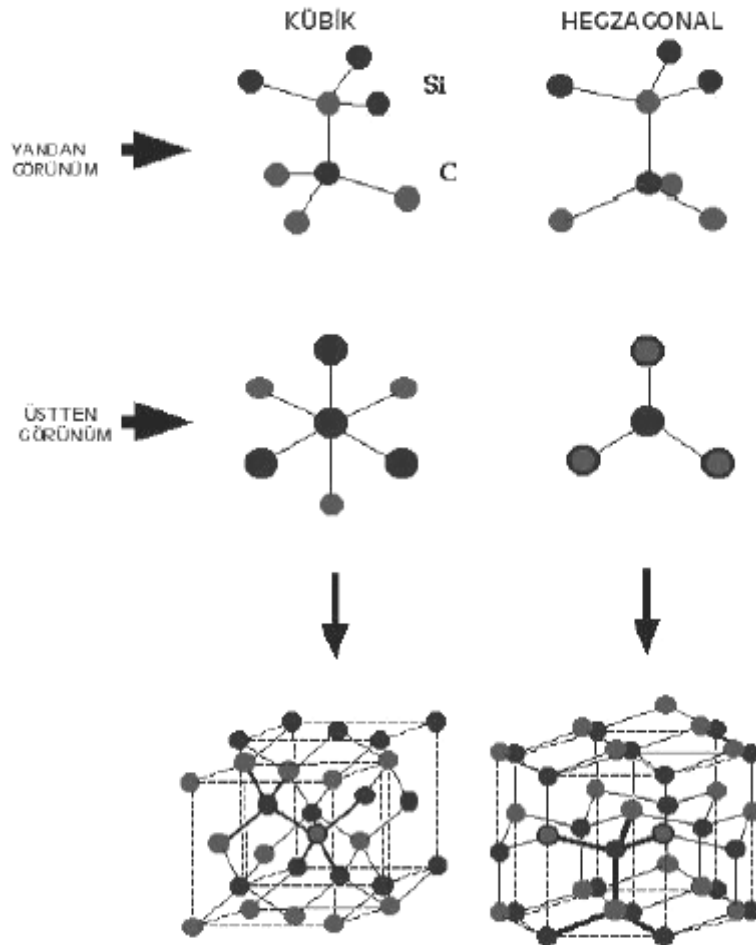
Silisyum karbür (SiC) kuvvetli kovalent bağ yapısında yapay bir malzeme olup, E.G. Achesontarafından 1891'de tesadüfen sentezlenmiştir [13].

Silisyum karbür en çok kullanılan yapısal seramiklerden bir tanesidir. 1970'li yıllardan beri yeni uygulamalar bulmuştur. Sahip olduğu birçok özellik ve en önemlisi karmaşık mühendislik şekillerinde, silisyum karbür tungsten karbür yerine çekici bir aşınma direnci uygulayıcı olarak kullanılmaya başlanmıştır [17].

### 3.2.1. Silisyum karbürün kristal yapısı

Sentetik bir malzeme olan silisyum karbür iki farklı kristal yapıya sahiptir. Bu kristal yapıların biri; 1400-1800°C'de oluşan  $\beta$  formundaki kübik yapı, diğeri ise; 2000°C'de oluşan  $\alpha$  formundaki hegzogonal kristal yapıdır.

Bu yapılarda görülen farklılıklar aslında kümeleşmede görülen dizilmelerdir. Bütün silisyum karbür yapıları hegzogonal çift katmanlardan meydana gelmiştir ve burada bir hegzogonal düzlemde bulunan bir katman karbon atomları diğeri bir katmanda bulunan hegzogonal silisyum atomlarının üstüne yerleşmişlerdir. Bu silisyum karbür yapısında her karbon atomu 4 silisyum atomu tarafından tetrahedral biçimde çevrenilmiş ve her silisyum atomu ise 4 karbon atomu tarafından yine tetrahedral biçimde çevrenmiştir [22].



Şekil 3.1. Kübik ve hegzogonal SiC yapısı [14]

Silisyum karbürün en çok kullanılanı ve mühendislik uygulamalarında tavsiye edileni  $\beta$ -SiC'dür. (3C:kübik). Diğer bütün tipler ise (4H, 6H, 15),  $\alpha$ -SiC kristal yapısındadır.  $\beta$ -SiC'nin sinterlenmesinde 2000°C'lara gelindiğinde, kübik kristal yapıdan hegzogonal kristal yapıya ( $\alpha$ -SiC) dönüşüm olduğu ifade edilmektedir [23].

### 3.2.2. Silisyum karbürün genel özellikleri

Karbür bileşikler sınıfında yer alan silisyum karbür 40,1 molekül ağırlığına, 3,2 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğa, 2730°C ergime sıcaklığına, 27,4 GPa sertliğe (mohs sertlik biriminde 9,5-9,75) sahiptir. Ayrıca 126 W/m<sup>o</sup>K ısı iletkenliğe, 5.10<sup>-6</sup>/°C ısı genleşme, düşük özgül dirence (0,1.10<sup>-6</sup> Ωcm) ve kullanılabilir bir elektriksel dirence sahiptir. Genel olarak silisyum karbür kimyasallara karşı tepkimesizlerdir. Bazik, asidik ve tuzlu çözeltilerden konsantrasyona bağlı olmaksızın hiç etkilenmezler. Organik çözeltiler de silisyum karbürü etkilemez.

Saf SiC renksiz (saf  $\alpha$ /hegzogonal), sarı ( $\beta$ /kübik), yeşil (azot veya fosfor daldırılmış), mavi (alüminyum daldırılmış), kahverengi (bor daldırılmış) ve siyah (yoğun bir şekilde alüminyum daldırılmış) olarak hazırlanmaktadır. Endüstride kimyasal içeriğine göre % SiC sınıflandırılması tablo 3.2'de verilmiştir [14].

Tablo 3.2. Endüstride kimyasal içeriğine göre % SiC'ün sınıflandırılması [14]

Yeşil SiC (SiC %98)		Siyah SiC (SiC %97)			SiC (SiC %90)	
Min/Maks.	Genel	Min/Maks	Genel		Min/Maks	Genel
SiC	98	99,2	97	97,8	90	91
Serbest C	0,25	0,12	0,3	0,18	3	1,8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,6	0,4	1,2	0,68	2,5	2,0

Silisyum karbür bu özellikler sonucunda oldukça yüksek bir termal şok dayanımı davranışı gösterir. Termal iletkenlik kristal yapıda çözünen safsızlıkların varlığından etkilenir. Yüksek saflıkta ticari silisyum karbür elde etmek zordur, çünkü sinterleme için eklenen safsızlıklar veya reaksiyon bağlamada kullanılan silisyumda bulunan safsızlıklar bunu engeller. Sinterlenmiş silisyum karbür, seramik malzemeler içerisinde en dayanıklı olanlardan birisidir. Mukavemetin sınırlanması kristalit aglomeratlara, aşırı büyümeye, uzamış tanelere ve gözenek gibi hatalara bağlıdır [22].

Tablo 3.3. Silisyum karbür malzemelerin fiziksel özellikleri [22]

SiC Malz. Tipi	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Sertlik Vickers (HV)	Young Modülü	Genleşme Katsayısı	600°C'de Termal İletkenlik (W/mK)	Eğme Muk. 20°C (MPa)	Eğme Muk. 1400°C (Mpa)
K-SiC	2,55	-	100	5,8	16	30	20
R-SiC	2,60	-	240	5,0	28	100	100
RB-SiC por.	2,60	-	250	5,0	25	250	250
RB-SiC yoğ.	3,18	-	280	4,2	-	350	-
Si-SiC	3,12	-	400	4,3	60	350	200
S-SiC	3,15	-	410	4,9	50	430	450
HP-SiC	3,20	-	450	4,5	55	640	650
HIP-SiC	3,21	3100	450	4,5	75	640	610
HIPS-SiC	3,19	-	430	4,8	50	450	450

Bu tabloda;

K: kristalize, R: rekristalize, RB: Reaksiyon bağlı, S: sinter, HP: sıcak pres, HIP: sıcak izostatik pres, HIPS: sıcak izostatik presle sinterleme olarak tanımlanır.

### 3.2.3. Silisyum karbür kullanım alanları

Silisyum karbür, ileri teknoloji malzemelerine ihtiyaç duyulan birçok yerde kullanılmakla birlikte, genel olarak %saflık seviyelerine göre; metalurjik, abrazif ve sinter amaçlı olmak üzere, üç ana grupta sınıflandırılmaktadırlar.

Yüksek saflıktaki (yeşil renk) silisyum karbür, mühendislik seramiklerde sinter amaçlı kullanılırken, saflığın %97,5 veya daha düşük olması durumunda, söz konusu malzeme abrazif ve refrakter amaçlı olarak kullanılırlar. Saflığın %90'ın altına düşmesi durumunda ise, metalurjik uygulamalarda kullanılırlar [23].

Aşınma, erozyon dirençli silisyum karbür uygulamaları, havacılık endüstrisinde pompa malzemeleri ve kalıplarda kullanılır. Isı dayanımından dolayı uzay teknolojisinde de yüksek sıcaklık roket ucu bağlantılarında, ısı değişim tüplerinde, düfüzyon fırını parçalarında kullanılır.

Ayrıca seramik motorlarda ve turbo şarj kısımlarda silisyum karbür uygulamalarında da denenmiş olup, türbin motorlarında uygulamaları artmaktadır. Silisyum karbür bilgisayar çiplerinde de kullanılır [17].



## **BÖLÜM 4. ELEKTROMANYETİK TEMEL KAVRAMLAR**

### **4.1. Elektriksel Uzunluk**

Elektromanyetiği anlamayı kolaylaştırabilecek önemli bir kavram elektriksel uzunluktur. Elektriksel uzunluk, bir telin belirli bir frekanstaki birimsiz ölçüsüdür ve telin fiziki uzunluğunun sinyal dalga boyuna oranı olarak tanımlanır.

$$\text{Elektriksel uzunluk} = \frac{L}{\lambda}$$

Burada,

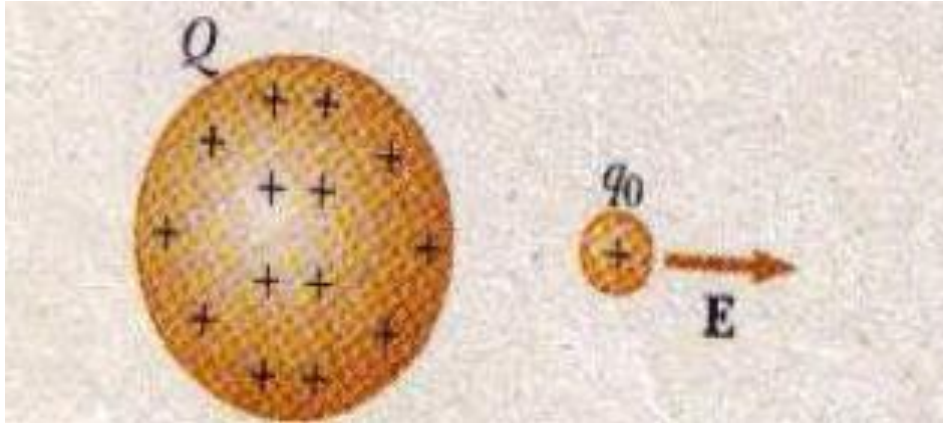
L: Telin fiziki uzunluğu (cm)

$\lambda$ : Sinyal dalga boyu

olarak tanımlanır [24].

### **4.2. Elektrik Alan**

Elektrik alan E vektörü ile gösterilir. Uzayda bir noktadaki E elektrik alanı, o noktaya konulan artı (+) bir deneme yüküne etkiyen  $F_e$  elektrik kuvvetinin deneme yükünün  $q_0$  büyüklüğüne bölümü olarak tanımlanır [25].



Şekil 4.1.  $q_0$  yüküne etkiyen elektrik alan [25]

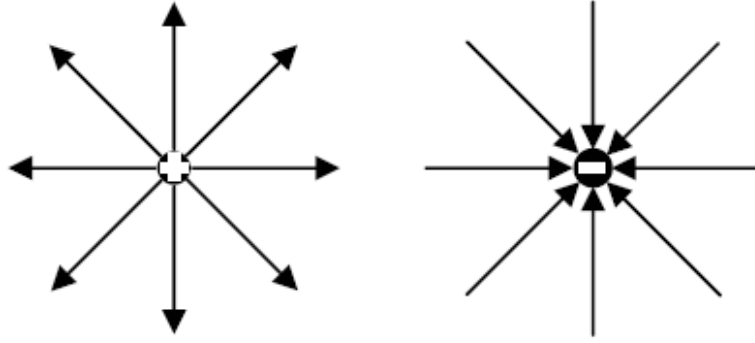
Coulomb yasasına göre  $q$  yükünün  $q_0$  deneme yüküne uyguladığı elektrik kuvveti aşağıdaki denklemde gösterilmiştir.

$$F_e = k_e \frac{q \cdot q_0}{r^2} \hat{r}$$

Burada,  $F_e$  elektrik kuvveti,  $k_e$  coulomb sabiti,  $\hat{r}$  ise  $q$  dan  $q_0$ 'a yönelik birim vektörü olarak tanımlanır [25].

Elektrik alanlar, elektrik yüklerinden oluşurlar, yani elektrik alanların kaynakları yüklerdir. Yükler pozitif ve negatif olmak üzere ikiye ayrılır. Benzer yükler birbirini iter, zıt yükler ise birbirini çeker. Diğer bir deyişle yükler birbirine kuvvet uygular, bu yükün pozitif ya da negatif oluşuna göre itme veya çekme etkisi oluşturur.

Nötr yükler bu kuvvetlerden etkilenmezler. Yüklerin birbirine uyguladıkları kuvvet herhangi bir fiziki temas olmadan gerçekleşmektedir. Elektrik alan bir yükün 1C'luk yüke uyguladığı kuvvettir ve yönü Şekil 4.2'de görüldüğü gibi pozitif yükten negatif yüke doğrudur. Diğer bir deyişle, herhangi bir noktadaki bir elektrik alanın değeri o noktadaki birim yüke uygulanacak kuvveti tanımlar [24].



Şekil 4.2. Elektrik alan çizgileri [24]

Elektrik alanın büyüklüğü uzaklık ile ters orantılıdır. Elektrik alanın büyüklüğü uzaklık arttıkça azalır, uzaklık azaldıkça artar. Elektrik alan formülü aşağıdaki gibidir.

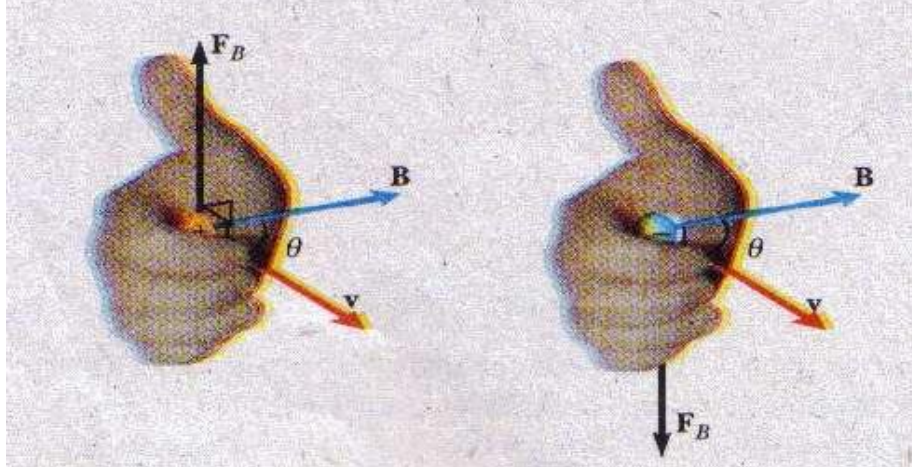
$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon \cdot \vec{r}^2}$$

Burada,  $q$  elektrik alanı oluşturan kaynağın yük değeri,  $r$  elektrik alanı hesaplanacak olan noktanın kaynağa olan uzaklığı,  $\epsilon$  ise ortamın dielektrik sabiti olarak verilir [24].

### 4.3. Manyetik Alan

Uzayın bir noktasındaki  $B$  manyetik alanı, orada bulunan bir deneme cismine alanın uyguladığı  $F_B$  manyetik kuvveti cinsinden tanımlanabilir.  $V$  hızıyla hareket eden deneme cismine etkileyen  $F_B$  manyetik kuvveti aşağıdaki denklemlerle ifade edilmektedir.  $q$  pozitif ise;  $F_B$  nin yönü  $v \times B$  nin yönünde,  $q$  negatif ise;  $v \times B$  ile ters yönlüdür. Manyetik alan birimi Tesla olup  $T$  ile gösterilmektedir [25].

$$F_B = qv \times B$$



Şekil 4.3. q yüküne etkiyen manyetik kuvvetin yönü [25]

$$F_B = |q| vB\sin\theta$$

Fizikçiler tarafından manyetik alan, elektrik mühendisleri tarafından manyetik akı yoğunluğu olarak ifade edilen; fizikçiler tarafından mıknatıslama alanı B, elektrik mühendisleri tarafından manyetik alan şiddeti H olarak tanımlanan ifadeye ait denklem aşağıda ifade edilmiştir. Denklemde görülen  $\mu_0$  boş uzaydaki manyetik geçirgenliktir [26].

$$H = (B / \mu_0)$$

#### 4.4. Elektromanyetik Alan

Elektromanyetik dalga, Maxwell eşitlikleri ile açıklanabilir. James Clerk Maxwell'in formülüne etmesi nedeniyle Maxwell eşitlikleri olarak bilinen bu eşitliklerin genelleştirilmiş ifadesi Şekil 4.4'te gösterilmektedir. Burada birinci denklem; herhangi kapalı bir yüzeyden geçen elektrik akısı ile bu yüzey tarafından çevrelenmiş net yük arasındaki ilişkiyi ifade eden Gauss kanunudur. İkinci denklem ise; kapalı bir yüzeyden geçen net manyetik akının sıfır olduğunu belirten manyetik Gauss kanunudur. Üçüncü denklem ise; değişen bir manyetik alanın oluşturduğu elektrik alanı tanımlayan Faraday kanunudur. Dördüncü denklem ise; değişen elektrik alanı ve elektrik akımları tarafından oluşturulan manyetik alanın oluşumunu tanımlayan Ampere devre kanunudur [27].

Diferansiyel Form	İntegral Form	Açıklamalar
$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_v$	$\oint_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{S} = \int_V \rho_v dv$	Gauss Kanunu
$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$	$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$	Manyetik alan için Gauss Kanunu. (Manyetik kutuplar yalıtılamaz.)
$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$	$\oint_L \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{\partial}{\partial t} \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$	Faraday Kanunu
$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$	$\oint_L \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \int_S (\mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}) \cdot d\mathbf{S}$	Ampere Devre Kanunu

Şekil 4.4. Maxwell eşitliklerinin genelleştirilmiş ifadeleri [27]

#### 4.5. Elektromanyetik Ekranlama (EMS)

Elektromanyetik etkileşimi ekranlama, elektromanyetik dalganın bir malzeme tarafından soğrulması veya yansıtılması, dolayısıyla dalganın içeri girmesine engel olunmasıdır. Günümüzde elektronik cihazların sosyal yaşamdaki rolünün artması ve yaygın kaynaklarındaki hızlı gelişim bu alandaki sorunların giderilmesinde ekranlamayı önemli hale getirmiştir [27].

Ekranlama işlemi birçok amaçla yapılabilir. Elektromanyetik ekranlama (EMS) ise daha çok elektronik cihazların etrafındaki elektromanyetik dalgalardan etkilenmesini engellemek için yapılır. Bir ürünü istenmeyen elektromanyetik etkilerden korumak için kullanılan en genel yöntem ürünü iletkenliği yüksek duvarlardan oluşan bir kutu içerisine yerleştirmektir.

Pratikte bir ürünü kutu içerisine tamamen kapatabilmek mümkün olmadığından ve iletken malzemenin iletkenliği sonsuz olmadığından, kutu içerisine düşük frekanslı manyetik alan sızması gerçekleşebilir.

Aşağıda NASA referans yayınlarında sistem performansı üzerinde elektromanyetik etkileşim (EMI) etkisini açıklayan gerçek hayattan örnekler vardır.

Uçak ve otomobil için kilitleme karşıtı frenleme sistemleri (ABS) elektromanyetik etkileşime duyarlıdır. Frenler düzgün görev yaparken elektromanyetik etkileşim, ABS kontrol sistemini bozar, böylece kazalar meydana gelir. Uçağın modern elektronik sistemi, yolcular tarafından taşınıp zararsız gibi görünen taşınabilir bilgisayarlar, cep telefonları, kalp monitörleri gibi elektronik cihazlar EMI ya karşı hassastır. 1986-1995 yılları arasında NASA güvenlik rapor sisteminde pilotlar tarafından bildirilmiş ortalama 5200 rapor vardır [32].

Elektromanyetik ekranlama işlemi metallerin yansıtıcı özelliğine bağlıdır. Metaller elektromanyetik spektrum (tayf) içerisinde çoğu frekans bölgesinde yüksek oranda yansıtıcı özelliğe sahiptir. Metaller, görünür ışıkta olduğu gibi radyo dalgalarını da yansıtır. Metaller görünür ışık frekanslarında farklı özelliklere sahip olmasına ve bu bantta iletken olmamalarına rağmen yine de eğer yüzey lekesiz ve parlak ise metaller gelen dalganın çoğunu yansıtır. Aynaya baktığımız zaman bunu anlarız. Ayna, arka tarafından metal film ile birleştirilmiş bir camdan ibarettir. Cam, metal filmin hem lekelenmesini engellemek hem de düzgün bir yüzeye yerleşmesi için kullanılır. Ayrıca cam, havadan daha yüksek dielektrik sabitine sahip olduğu için metalin yansıtıcılığını artırır.

Radarların çalışması da yine metallerin yansıtıcı özelliği sayesinde sağlanmaktadır. Mikrodalga ışına araba, uçak ya da benzeri hedeflerden geri döner. Ayrıca radyo dalgaları çoğu radyo bandında iletkenliği yeterli görülebilecek olan topraktan da yansır.

İletken bir levha en basit elektromanyetik ekrandır. Bir ekranın nasıl çalıştığını anlayabilmek için öncelikle ekranın mükemmel iletken olduğunu varsayalım. Mükemmel bir iletkenin direnç değeri sıfırdır, bu yüzden mükemmel iletkenin içerisinde elektrik alan sıfırdır. Aksi takdirde akımın sonsuz olması gerekirdi.

Mükemmel iletken içerisinde elektrik alan sıfır olduğundan elektromanyetik alan ilerleyemez. Elektromanyetik alan mükemmel bir iletkene uygulandığı zaman dalga enerjisinin tamamı geri yansır. Çünkü iletken içerisine enerji giremez.

Ekranlama yapmanın amacı elektromanyetik enerjinin ilerlemesini engellemektir. İletken malzemeler ekranlama için iki mekanizmaya sahiptir. Birincisi düşük frekanslar için çok önemli olan yansıma, ikincisi ise deri etkisi sebebiyle oluşan yutma etkisidir. Yutma, özellikle yüksek frekanslarda gerçekleşir. Tüm frekanslarda elektromanyetik enerjinin çoğu iletkenin yansıtma özelliğinden dolayı ekranlanır. Fakat yüksek frekanslarda deri etkisi sebebiyle oluşan yutma oldukça etkilidir [24].

#### **4.6. Ekranlama Etkinliği (SE)**

Ekranlama etkinliği (SE), kaynak ile elektronik sistem arasında ekran yokken var olan alan şiddetinin, ekran varken oluşan alan şiddetine desibel (dB) olarak oranına denir. Ekranlama etkinliği ne kadar yüksek olursa ekranlamanın da o kadar iyi olduğu sonucunu çıkarabiliriz. Ekranlama etkinliğinin negatif olmasına ise çınlama (rezonans) denir [27].

#### **4.7. Elektromanyetik Etkileşimi (EMI) Ekranlama Malzemeleri**

Sınırlayıcı gereksinimlerine bağlı olarak çeşitli malzemeler belirli bir bölgede elektromanyetik (EM) enerjiyi sınırlamak ve diğer sistemleri işgal etmesini önlemek amacıyla geliştirilmiştir.

Elektronik ve radyo frekans radyasyon kaynaklarının hızlı büyümesinden dolayı yüksek güvenilirlik talebi nedeniyle, EMI sınırlaması günümüzde giderek daha önemli hale gelmiş ve EMI ekranlanma uygulamaları için malzemelerin geliştirilmesi daha fazla ilgi çekmektedir. Bir EMI ekranlama malzemenin temel şartı bu malzeme ile diğer malzemeler arasında EMI ortam içinde ekranlama amaçlı, belirtilen ölçüde elektromanyetik uyumluluk (EMC) gereksinimi karşılamak gerektiridir.

Elektromanyetik ekranlama amaçlı kullanılacak olan malzeme seçimi genel olarak şu noktalar tarafından değerlendirilmektedir:

- Belirli bir ekranlama etkinliği (SE) sağlamak için gerekli elektromanyetik özellikleri,

- Belirli bir ekranlama uygulama için elektromanyetik uyumluluk,
- Geometrik özellikler şekil ve büyüklük,
- Mekanik şartlar (rijitlik, esneklik, ağırlık ve yapısal montaj edilebilirlik),
- Zorlu ısı ortamlarında performans,
- Çalışma bant genişliği.

EMI ekranlama için en geleneksel malzemeler metaller ve alaşımları olmak üzere, iletken dolgu maddeleri ile dolu kompozitler, iletken kaplama, kendinden iletken polimerler gibi her kategoriden malzeme bulunmaktadır [5].

#### **4.7.1. Metal bazlı ekranlama malzemeleri**

Metaller çoğunlukla elektriksel iletkenlik özelliği göstermeleri nedeniyle ve EM radyasyonu yüksek oranda yansıtması sonucu, ekranlama için caziptir. Özellikle, ferromanyetik olan metaller EM radyasyon manyetik alan ve radyasyon sonucu emilim ile etkileşim kabiliyeti açısından caziptir.

Metalik ekranlama malzemeleri sac veya folyolar, ark püskürtme çinko kaplama, vakum metal kaplama dahil olmak üzere çeşitli şekillerde bulunur. Kaplama, akımsız kaplama, delikli levha (bileşenleri bağlamak veya montaj için delikler veya metalik levhalar aracılığıyla delikleri ile), katot-püskürtme metal tel ekranları ve metalize kumaşlar bu grupta sayılır [5].

#### **4.7.2. Ekranlama için iletken boyalar**

Elektromanyetik etkileşimden korunmak istenen malzemenin yüzeyi plastik, ahşap, seramik veya iletken boyalarla kaplanır. En sık olarak, bu boyalar iletken örneğin grafit gibi parçacıklar, nikel ve nikel kaplı parçacıklar, gümüş ve gümüş kaplı partikülleri içeren süspansiyonlardır. Boya orta derecede kullanılır, genelde bu boyalar cila, elastomer, silikon reçine, vinil tabanı, akrilik sıvı veya lateks dir [5].



### **4.7.3. Elektriksel iletken polimerler**

Polimerler ise işlenebilirlik özelliklerinden dolayı genellikle çekicidir. Bununla birlikte, geleneksel polimerler iletken değildir. Onların işlenebilirlikleri ve mekanik özellikleri yetersiz olma eğiliminde olsa da iletken katkı polimerler, kullanılabilir hale gelmiştir. İletken polimerlerin çeşitli (örneğin iyot katkı poliasetilen, poli-p-fenilen vinilen gibi) giderek kullanılabilir hale gelmektedir [5].

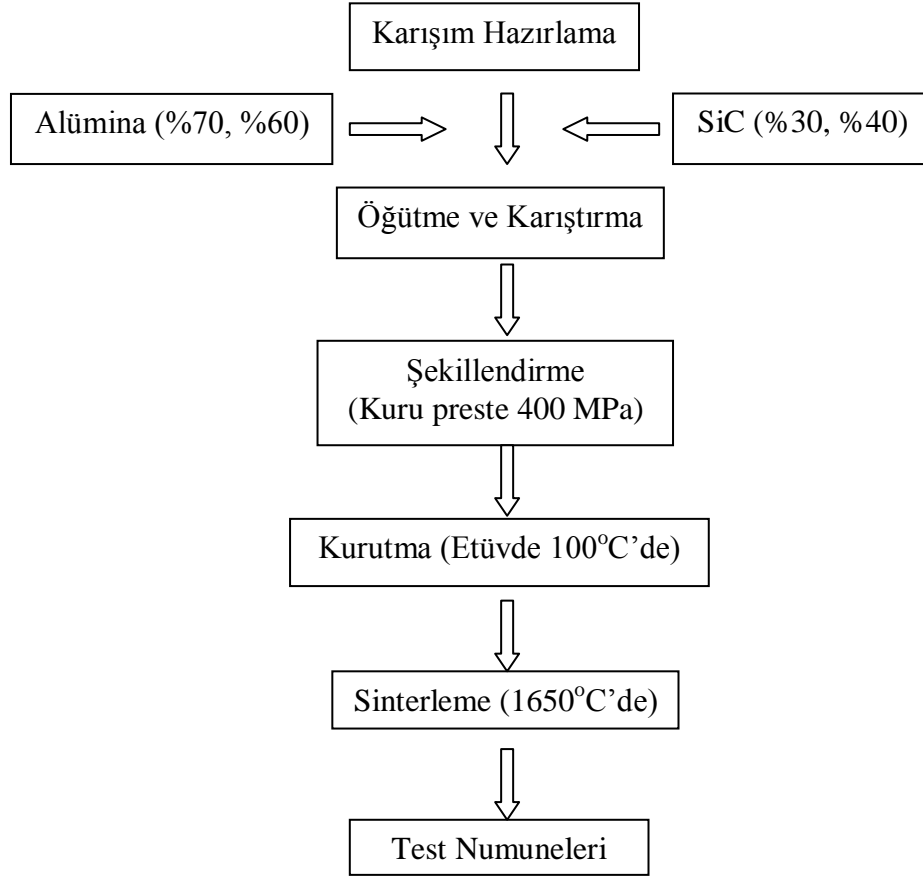
### **4.7.4. Seramik matris ve karbon matris malzemeler**

Seramik matris ve karbon matris kompozitler önemli yapısal uygulamalardır. Seramik matris ve karbon matris kompozit yapılar, kompozit dolgu malzemelerinin elektriksel bağlanabilirliğine yardımcı olan hafif ve orta iletkenliği nedeniyle ekranlama olarak kullanım alanında cazip malzemelerdir [5].

## BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 5.1. Deney Programı

Bu çalışmada matris yapı olarak 5 µm boyutunda ticari alümina kullanılmıştır. Takviye amaçlı olarak ise 40-80, 80-125 ve 125-250 µm olmak üzere üç farklı tane boyut aralığına sahip SiC kullanılarak kompozit oluşturulmuştur. Alüminaya SiC ağırlıkça %30 ve %40 oranında ilave edilmiştir. Alümina-SiC karışımları ile hazırlanan numunelerin üretim aşamaları Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiC kompozit yapı üretim akış şeması

Elektromanyetik dalga ekranlama etkinliğini araştırmak amacıyla Şekil 5.1’de verilen yöntemle elde edilen test numuneleri üzerinde ayrıca pişme küçülmesi, yoğunluk, gözeneklilik, sertlik ve eğme dayanımı testleri de yapılarak fiziksel özellikleri belirlenmiştir.

## 5.2. Toz Karışımlarının Hazırlanması

5  $\mu\text{m}$  tane boyutuna sahip ticari alümina tozuna ağırlıkça %30 ve %40 oranlarında, 40-80, 80-125, 125-250  $\mu\text{m}$  tane boyutlarında SiC tozları ilave edilmiştir. Her bir grup toz homojen bir karışım elde etmek amacıyla mekanik karıştırma yöntemiyle gezegen değirmende yüksek yoğunluklu polietilen bir kap içerisinde alümina bilyeler kullanılarak kuru ortamda 1saat süresince karıŐtırılmıŐtır.

Numunelerin bileŐim oranları ve bu çalıŐmadaki grafiklerde kullanılan numunelere ait kodlar Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1. Hazırlanan karışımların % ağırlık oranları

BileŐim (% AĞ.)		SiC Tane	Malzeme
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiC	Boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Kodu
100	-	-	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
70	30	40-80	30S_40-80
70	30	80-125	30S_80-125
70	30	125-250	30S_125-250
60	40	40-80	40S_40-80
60	40	80-125	40S_80-125
60	40	125-250	40S_125-250

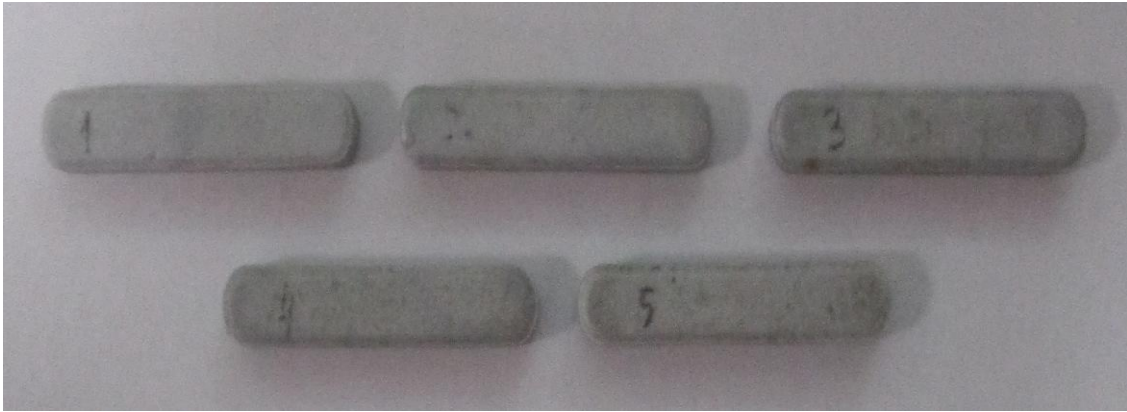
## 5.3. Tozların Şekillendirilmesi

Karışımları kolay Őekillendirebilmek ve belirli bir kuru mukavemet kazandırmak amacıyla alümina ve SiC tozları teknik alkol ile homojen bir Şekilde karıŐtırılmıŐtır.

Numuneler; pişme küçülmesi, yoğunluk, gözenek ve sertlik testlerinde kullanılmak üzere karışımlardan 2,5 gr toz alınarak 11,34 mm çapında silindirik çelik kalıp ile (Şekil 5.2), eğme dayanımı testi için ise 7 gr karışım alınarak 7,5×7,5×50 mm boyutlarındaki çelik kalıp ile (Şekil 5.3) kuru preste 400 MPa basınç uygulanarak şekillendirme işlemi yapılmış ve test numuneleri üretilmiştir. Şekillendirilen numuneler sinter öncesi etüvde 100°C’de 1 saat süre ile kurutulmuştur.



Şekil 5.2. Silindirik numuneler



Şekil 5.3. 7,5×7,5×50 mm boyutlarındaki eğme testi numuneleri

#### 5.4. Sinterleme

Silindirik ve çubuk formunda olan numunelerin hazırlanması ve karakterizasyonu Romanya Cluj-Napoca şehrinde bulunan Cluj-Napoca Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde yapılmıştır. Sinterleme açık atmosfer ortamında, 1650°C sıcaklıkta 1 saat süre ile gerçekleştirilmiştir. Numuneler 5°C/dk ısıtma hızında sinterleme sıcaklığına ısıtılmış ve bu sıcaklıkta 1 saat bekletildikten sonra yine 5°C/dk soğutma hızında oda sıcaklığına soğutulmuştur.

EMS ölçümleri amaçlı altıgen şeklinde numuneler Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi ve Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümlerinde mevcut laboratuarlarda hazırlanmış ve karakterize edilmiştir. Altıgen şekilli EMS test numunelerinin sinterleme işlemleri saf N<sub>2</sub> gazı akışı altında GERO Marka grafit esaslı fırında grafit bir pota içerisinde 1650°C sıcaklıkta 1 saat süre ile gerçekleştirilmiştir. Numuneler 5°C/dk ısıtma hızında sinterleme sıcaklığına ısıtılmış ve bu sıcaklıkta 1 saat bekletildikten sonra yine 5°C/dk soğutma hızında oda sıcaklığına soğutulmuştur. Bu numunelerin hazırlanması ile ilgili detaylı bilgi Bölüm 5.5.8'de verilmiştir.

### 5.5. Sinterlenen Numunelerin Karakterizasyonu

Yukarıda açıklanan şekli ile sinterlenen numuneler çeşitli test ve analizlere tabi tutulmuştur. Numuneler testlere tabi tutulmadan önce yüzey kalitesini arttırmak için sırası ile 60, 120 ve 600 numaralı SiC esaslı zımparalar ile zımparalanmıştır. Hazırlanan yüzeylerde mikro yapı incelemeleri ve bu numunelerin aşağıda detaylandırılan bölümde açıklandığı üzere bir takım test ve analizleri gerçekleştirilmiştir.

#### 5.5.1. Pişme küçülmesi

Numunelerde meydana gelen pişme küçülmesi miktarını belirlemek için sinterlenmiş numuneler üzerinde dijital kumpas ile boyutsal ölçümleri yapılmış ve aşağıdaki denklem kullanılarak değerler hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Pişme küçülmesi} = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100$$

Burada,

L<sub>1</sub> : Kuru numunenin uzunluğu (cm)

L<sub>2</sub> : Sinterlenmiş numune uzunluğu (cm)

olarak tanımlanır.

### 5.5.2. Yoğunluk ve relatif yoğunluk

Sinterlenmiş numunelerin yoğunluğu Arşimet Prensibi ile ölçülmüştür. Bu yöntem için numunelerin önce kuru ağırlıkları daha sonra ise saf su içerisindeki ağırlıkları Presica marka hassas bir terazi ile 0,0001g hassasiyette ölçülmüştür.

$$d_b = \frac{m_k}{m_k - m_s / d_{su}}$$

Burada;

$d_b$ : yoğunluk (sinterlenmiş numune yoğunluğu) ( $g/cm^3$ )

$m_k$ : numunenin kuru ağırlığı (gr)

$m_s$ : numunenin saf su içindeki ağırlığı (gr)

$d_{su}$ : suyun yoğunluğu ( $g/cm^3$ )

olarak tanımlanır.

Ölçülen yoğunluk değerleri ve teorik yoğunluk değerleri kullanılarak sinterleme sonrası numunelerin relatif yoğunlukları aşağıdaki formüle göre hesaplanarak teorik yoğunluklara hangi oranda yaklaşıldığı belirlenmiştir.

$$\text{Relatif yoğunluk} = \frac{\text{Ölçülen yoğunluk}}{\text{Teorik yoğunluk}} \times 100$$

### 5.5.3. Gözeneklilik

3,9  $g/cm^3$  teorik yoğunluğa sahip alümina ile 3,1  $g/cm^3$  teorik yoğunluğa sahip SiC tozları ile oluşturulan kompozitlerin %Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %SiC içeriklerine göre teorik yoğunlukları hesaplanmıştır. Karışımda kullanılan tozların teorik yoğunlukları ve kompozitin teorik yoğunluğu kullanılarak yapıdaki gözeneklilik miktarı hesaplanmıştır.

$$\text{Kompozitin teorik yoğunluğu} = \frac{d_{SiC} \times d_{Al_2O_3}}{(\%_{SiC} \times d_{SiC}) + (\%_{Al_2O_3} \times d_{Al_2O_3})} \times 100$$

Burada;

$d_{SiC}$ : SiC teorik yoğunluğu

$d_{Al_2O_3}$ :  $Al_2O_3$  teorik yoğunluğu

$\%_{SiC}$ : Kompozit içerisinde SiC %si

$\%_{Al_2O_3}$ : Kompozit içerisinde  $Al_2O_3$  %si

olarak tanımlanır.

$$\text{Teorik yoğunluk (\%)} = \frac{\text{Numune yoğunluğu}}{\text{Kompozitin teorik yoğunluğu}} \times 100$$

Elde edilen bu değer 100'den çıkarılarak numuneye ait % gözenek değerleri elde edilmiştir [28].

#### 5.5.4. Eğme (üç nokta eğme) mukavemeti

Malzemelerin mekanik dayanımını tayin etmek için bütün numune gruplarına Galdabını marka cihaz ile üç nokta eğme testi uygulanmıştır. Bu test, çubuk formundaki numunelerin tam ortasına düzgün bir şekilde artan bir kuvvetin kırılma meydana gelene kadar uygulanması yolu ile yapılır.

#### 5.5.5. Sertlik

Üretilen numunelerde sertlik ölçümleri Rockwell (HRA) sertlik ölçüm yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Rockwell sertliği, koni ya da küre biçiminde bir ucun belli bir yük altında bir malzeme üzerinde oluşturduğu izin derinliğinden yararlanarak ölçülen sertlik değeridir. Rocwell cihazından alınan veriler birim tablosundaki [29] değerlere göre Vickers (HV) cinsine çevrilmiş ve Bölüm 6.5.'te verilmiştir.

#### 5.5.6. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve optik mikroyapı incelemeleri

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) hammadde ve ürünlerin gözle görülmeyen kristal yapılarını inceleyerek mineral ve ürünlerin cinsi hakkında bilgi veren bir araçtır [34].

SEM analizi ile numunede, tane boyutu, yüzey kabalığı, porozite, partikül tane dağılımı, malzeme homojenliği, ve kaplama kalınlığı belirlenebilir. Odaklanmış elektronlar numunenin yüzeyini tarar, tarama sonucunda oluşan sinyaller detektörler vasıtası ile tutulur [34].

Sinterlenen numunelerden Jeol marka JSM-6060 LV model SEM ile mikroyapı incelemesi yapılarak yapıdaki alümina matris yapısı ve SiC taneleri belirlenmiştir.

Farklı oranlarda ve boyutlarda SiC içeren numunelerde tane dağılımını görmek ve yapı homojenliğini inceleyebilmek için optik mikroskop görüntüleri alınmıştır. Her bir numuneye ait mikroyapı görüntüleri Bölüm 6.6.'da verilmiştir.

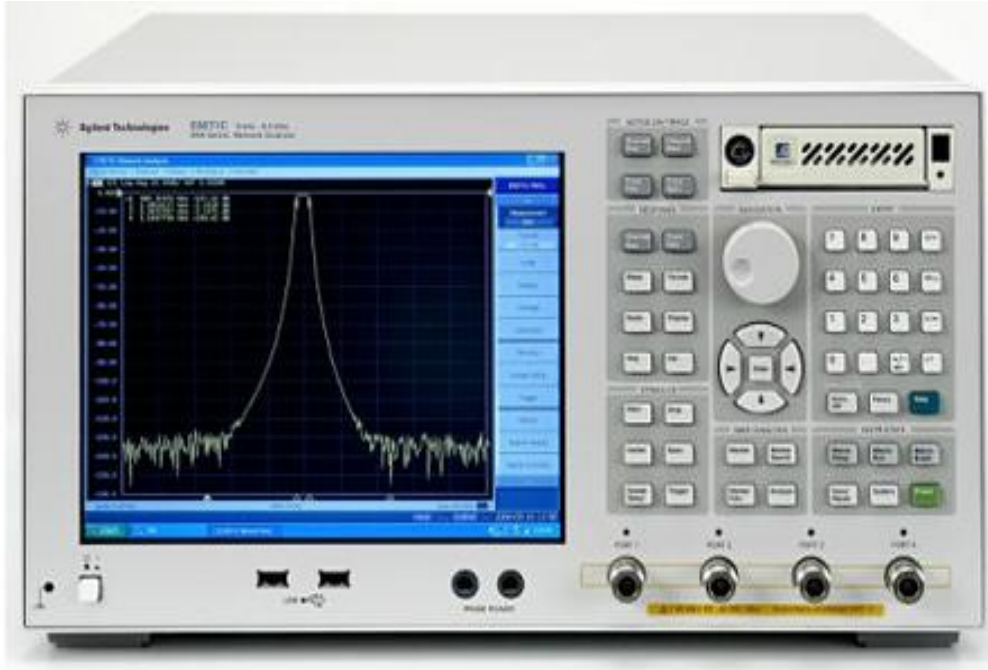
#### **5.5.7. X-ışınları difraksiyonu (XRD)**

Sinterlenen alümina ve SiC tozlarına ve kompozit yapısına Rigaku marka D/MAX/2200/PC model x-ışınları (XRD) cihazı ile  $10 < 2\theta < 80$  açılarında Cu K $\alpha$  ( $\lambda=1,5418 \text{ \AA}$ ) radyasyonu kullanılarak ölçüm yapılmış ve sinter sonrası yapıda görülen fazlar incelenmiştir.

#### **5.5.8. Elektromanyetik ekranlama ve ekranlama etkinliği**

Numunelerin elektromanyetik ekranlama etkinliğinin belirlenmesinde ölçüm düzeneği için sinyal kaynağı olarak Agilent E5071C ENA Series Network Analyzer kullanılmıştır (Şekil 5.4). Bu cihaz ile 12,4-18 GHz (Ku band) frekans aralıklarında, bu aralığa uygun dalga klavuzu da kullanılarak ölçüm verileri alınmıştır.





Şekil 5.4. Agilent E5071C ENA sinyal jeneratörü [30]

Numunelere elektromanyetik dalga girişimi uygulayan cihazın aparat ucu genişliği  $7,80 \times 15,80 \text{ mm}^2$  olduğu için bu testlerde kullanılan numuneler köşegen uzunluğu 25mm olan eşkenar altıgen şeklindeki çelik kalıpta 6 gr toz kullanılarak hazırlanmıştır. Teste tabi tutulan bütün numune kalınlıkları 2mm'dir (Şekil 5.5).

Numunelerin altıgen şeklinde üretilmiş olması özel bir teknik sebebe bağlı değildir. Cihaz aparat ucu açıklığını kapatacak şekilde hazırlanan farklı şekil ve boyuttaki numune de kullanılabilirdi.

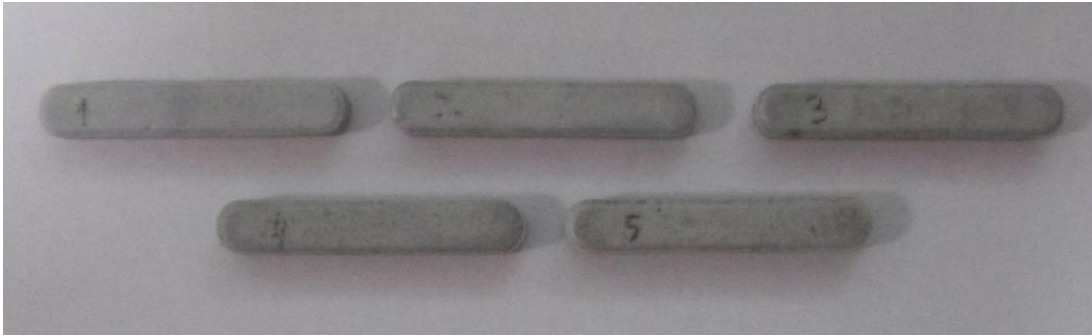


Şekil 5.5. Ekranlama Etkinliği Ölçümü İçin Hazırlanan Numuneler

## BÖLÜM 6. DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELENMESİ

### 6.1. Pişme Küçülmesi

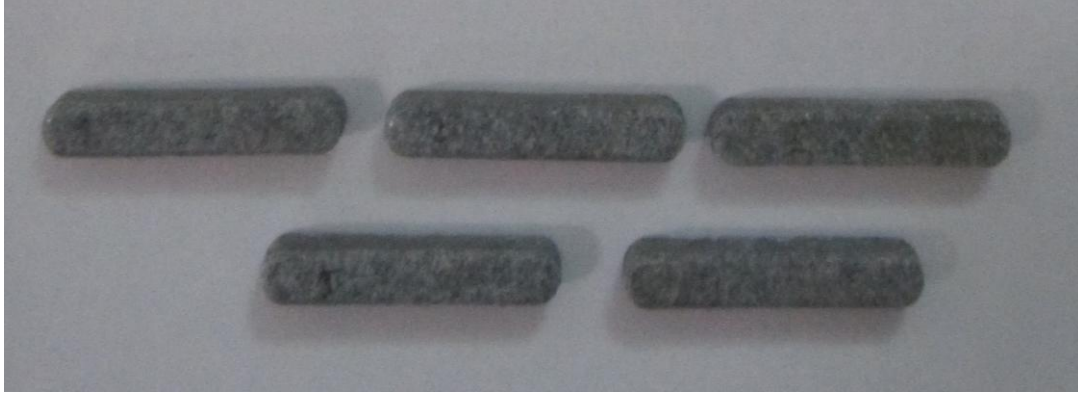
Farklı bileşimlerdeki numunelerin sinterleme sonrası makro görünümleri Şekil 6.1'de verilmiştir. Burada alümina içerisine ilave edilen SiC tane boyutu arttıkça (40  $\mu\text{m}$ -250  $\mu\text{m}$ ) numunenin renginde meydana gelen koyulaşma görülmektedir. İri taneler alümina içerisinde daha belirgin duruma gelmiştir.



40-80  $\mu\text{m}$  tane boyutunda SiC



80-125  $\mu\text{m}$  tane boyutunda SiC

125-250  $\mu\text{m}$  tane boyutunda SiC

Şekil 6.1. Sinterleme sonrası numunelerin makro görünümü

Alümina ve SiC toz karışımları ile hazırlanan numuneler (40S\_40-80, 40S\_80-125, 40S\_125-250, 30S\_40-80, 30S\_80-125 ve 30S\_125-250) 1650°C'de 1 saat süre ile sinterlendikten sonra pişme küçülmesi değerleri hesaplanmış ve Tablo 6.1'de verilmiştir.

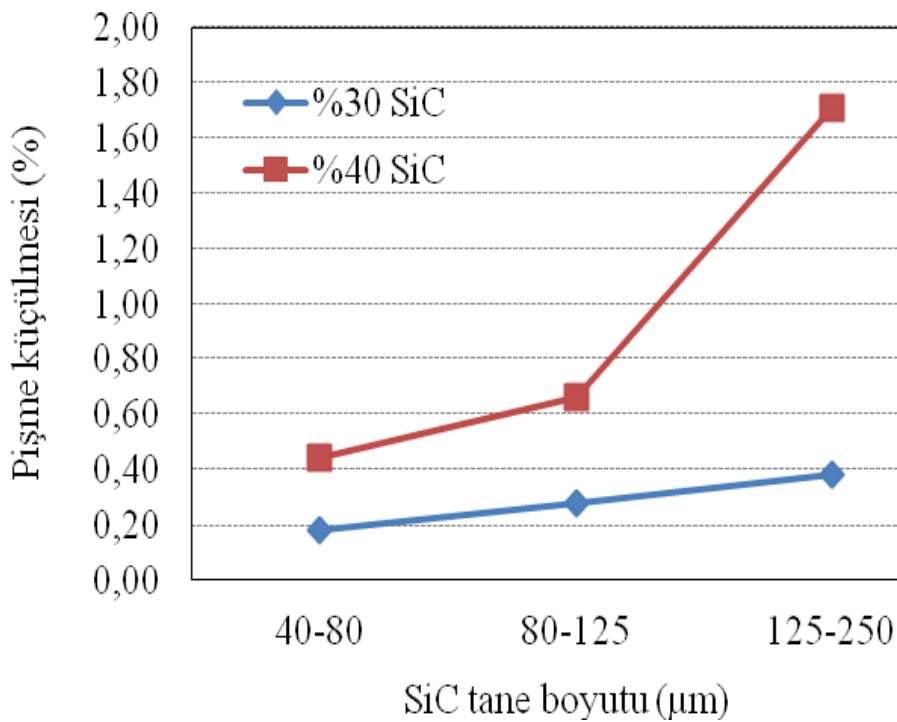
Tablo 6.1. Sinterleme sonrası numunelerde pişme küçülmesi (%)

Malzeme kodu	Pişme küçülmesi (%)
30S_40-80	0,18
30S_80-125	0,28
30S_125-250	0,38
40S_40-80	0,44
40S_80-125	0,66
40S_125-250	1,77

Alüminanın ergime sıcaklığı 2050°C ve SiC ergime sıcaklığı ise 2730°C'dir. Ağırlıkça %30 ve %40 oranlarında SiC ilaveli Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC karışımları şekillendirme sonrası atmosferik ve basınçsız ortamda ve 1650°C'de sinterlenmiştir. Ancak SiC ilave oranının fazla olması bu sistemde yeterli yoğunlaşmanın sağlanabilmesi adına kullanılan sıcaklığın yeterli olmadığını göstermiştir.

Çalışmanın yapıldığı Cluj-Napoca araştırma laboratuvarları ve bölümlerde basınçlı veya daha yüksek sıcaklıklarda sinterlemenin yapılabilmesine uygun ortam bulunmayışı nedeniyle mevcut koşullarda yapılan sinterleme sonrası elde edilen değerler kullanılmıştır.

Yapılan çalışmada elde edilen verilerin analizi sonrasında sinterleme sonrası pişme küçülmesi miktarının düşük kaldığı görülmüştür. Bununla birlikte SiC oranı ve tane boyutunun artışı ile pişme küçülmesi değerinin arttığı görülebilir (Şekil 6.2). En yüksek pişme küçülmesi değeri 125-250  $\mu\text{m}$  tane boyutunda %40 oranında SiC içeren numunelerde görülmüştür. En düşük oran ise 40-80  $\mu\text{m}$  tane boyutunda %30 oranında SiC içeren numunelerden elde edilmiştir.



Şekil 6.2. Farklı bileşimlerdeki numunelerin pişme küçülmesinin değişimi

## 6.2. Yoğunluk Ve Relatif Yoğunluk

Alümina ve SiC ile hazırlanan numunelerin sinter sonrası yoğunluğu Arşimet prensibi ile belirlenmiş ve değerler Tablo 6.2'de ve Şekil 6.3'te verilmiştir.

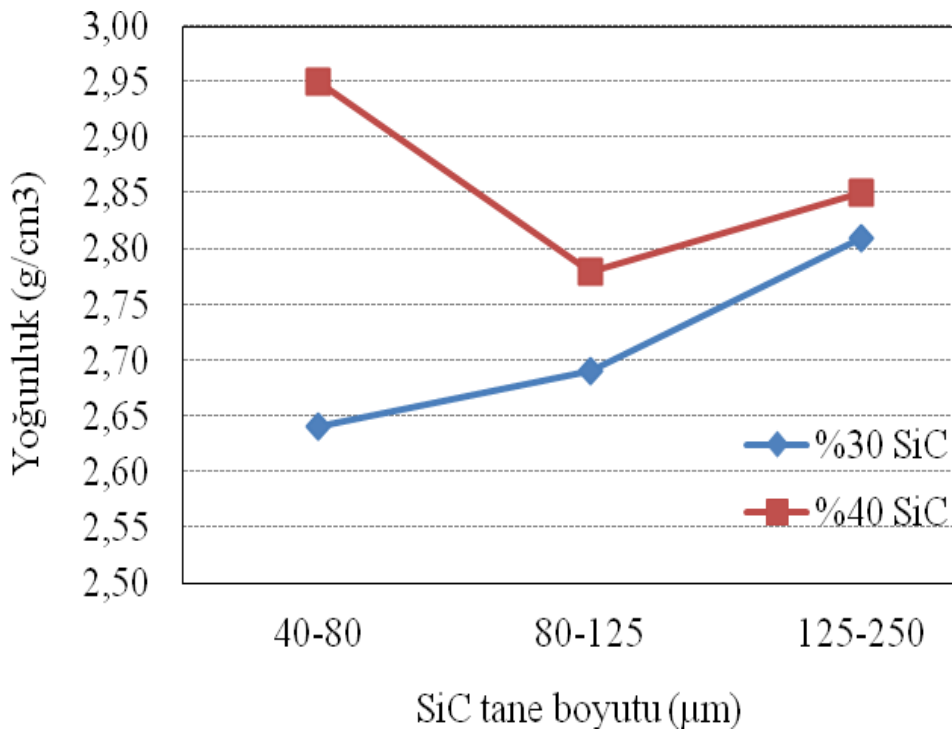
Tablo 6.2. Sinterlenen numunelerin yoğunluk değerleri

Malzeme kodu	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Relatif Yoğunluk (%)
30S_40-80	2,64	72,93
30S_80-125	2,69	74,31
30S_125-250	2,81	77,62
40S_40-80	2,95	83,33
40S_80-125	2,78	78,53
40S_125-250	2,85	80,51

Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde kompozit içerisinde SiC oranı arttıkça yoğunluk değerlerinin azaldığı görülmüştür. İncelenen bu çalışmalarda SiC ilavesi genellikle %5 - 20 oranlarında tutulmuştur [33]. Bu tez kapsamında hazırlanan karışımlarda ise %30 ve %40 oranında SiC ilave edilmiştir. Sonuç olarak literatüre göre farklı bir durumla karşılaşılmış ve SiC oranının artması yoğunluk değerini arttırmıştır.

SiC'ün teorik yoğunluğu 3,1 g/cm<sup>3</sup>, alüminanın teorik yoğunluğu ise 3,9 - 4,1 g/cm<sup>3</sup> tür. Bu açıdan daha düşük yoğunluğa sahip olan SiC oranının kompozit içerisinde hayli artması durumunda numunelerde tahmin edilen yoğunluk değerlerine ulaşamamıştır.

%30 oranında SiC içeren numunelerde SiC tane boyutunun etkisi incelendiğinde, tane boyutu dağılımı arttıkça yoğunluk değeri artmıştır. Bu çalışmada en yüksek yoğunluk 40-80 µm tane boyutunda, %40 oranında SiC içeren numunede görülmüştür. En düşük değer ise 40-80 µm tane boyutunda, %30 oranında SiC içeren numunede görülmüştür.



Şekil 6.3. Farklı bileşimlerdeki numunelerin sinter sonrası yoğunluk ( $\text{g/cm}^3$ ) değişimi

### 6.3. Gözeneklilik

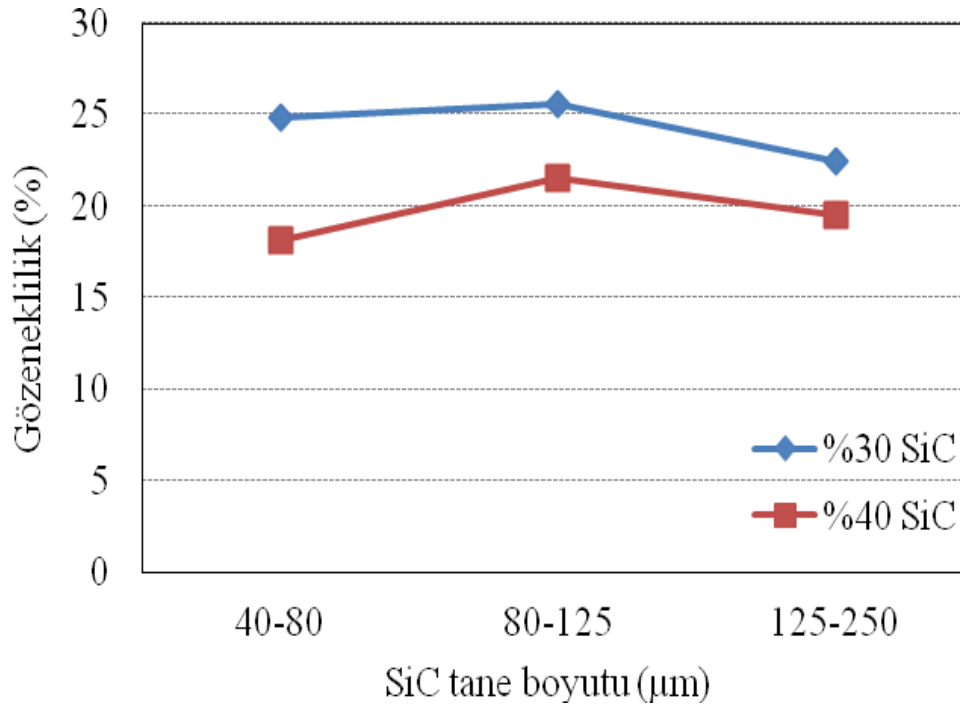
Alümina ve SiC ile hazırlanan numuneler (40S\_40-80, 40S\_80-125, 40S\_125-250, 30S\_40-80, 30S\_80-125 ve 30S\_125-250) sinterlendikten sonra numunelerin gözenek değerleri ölçülmüş ve Tablo 6.3 ve Şekil 6.4'de verilmiştir. Şekilde SiC katkı ilavesinin gözeneklilik miktarını azalttığı görülmektedir. Literatürde [14,33] SiC katkı ilavesinin %20 SiC oranına kadar gözenekliliği artırdığı belirtilmektedir. Ancak bu çalışmada elde edilen bulgular %30 ve %40 SiC katkı oranlarında bunu doğrulamamıştır. SiC artış miktarı ile gözeneklilikteki azalışın tane boyutu artışı ile ters orantılı olduğu görülmektedir (Şekil 6.4).

Diğer bir deyişle küçük tane boyutlu SiC ilavesi daha fazla spesifik yüzey alanı oluşturmaktadır. Bu durum SiC yüzeyinde mevcut daha kararlı olan  $\text{SiO}_2$  miktarında da artış olduğu anlamına gelmektedir. Bu nedenle  $\text{Al}_2\text{O}_3$  SiC yüzeyinde mevcut  $\text{SiO}_2$  ile sinterleme sıcaklığında ( $1650^\circ\text{C}$ ) tepkimeye girerek daha fazla sıvı fazı oluşturacaktır. Bu durumun daha düşük gözenekliliğe neden olabileceği düşünülmektedir.

Tablo 6.3. Numunelerin % gözenek miktarı değerleri

Malzeme kodu	Gözenek (%)
30S_40-80	24,84
30S_80-125	25,63
30S_125-250	22,45
40S_40-80	18,16
40S_80-125	21,59
40S_125-250	19,55

Numunelerde gözlemlenen % gözenek miktarı incelendiğinde yeterli yoğunlaşmanın olmadığı açıkça gözlemlenebilmektedir. Önceki bölümlerde de belirtildiği üzere bu durum sinterleme koşullarının mevcut karışımlar için yeterli olmadığını açıkça göstermektedir.



Şekil 6.4. Numunelerin % gözenek miktarı dağılımı

#### 6.4. Eğme (Üç nokta eğme) Mukavemeti

Alümina ve SiC tozları ile hazırlanan seramik kompozitlerin üç nokta eğme mukavemet değerleri Tablo 6.4'te, bu değerler arasındaki ilişki de Şekil 6.5'te gösterilmiştir.

Tablo 6.4. Numunelerin üç nokta eğme mukavemeti değerleri

Malzeme kodu	Eğme dayanımı (MPa)
40S_40-80	115,52
40S_80-125	111,77
40S_125-250	95,77
30S_40-80	124,73
30S_80-125	110,85
30S_125-250	104,2

% gözenek miktarı seramik malzemelerin mekanik dayanımını önemli ölçüde etkileyen bir faktördür. Dayanımı etkileyen diğer bir faktör ise kullanılan tozun tane boyutudur. Griffit Teorisine göre [31] seramik malzemelerin dayanımı yapı içerisinde bulunan çatlaklardan da etkilenmektedir.

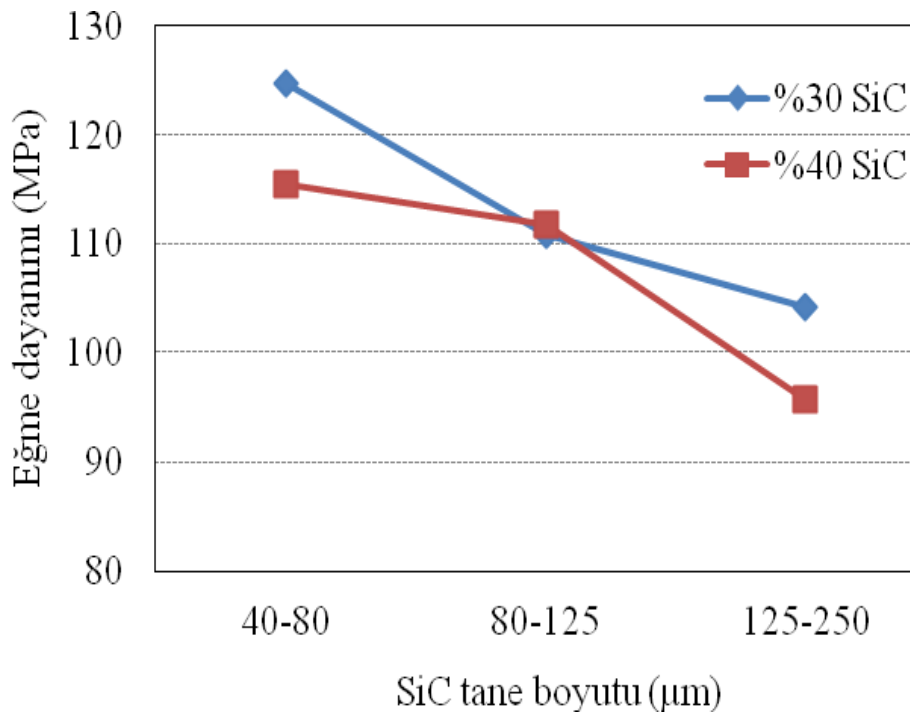
Literatürde %99,2 teorik yoğunluğa sahip katkısız  $Al_2O_3$  seramiklerin üç nokta eğme mukavemet değeri ortalama 280 MPa ( $1635^{\circ}C$ 'de) olarak raporlanmaktadır [33]. Genel olarak Şekil 6.5'de verilen üç nokta eğme dayanımı değerleri incelendiğinde ise SiC katkılı alüminaların katkı miktarı ve SiC tane boyutu arttıkça mukavemetinin düştüğü görülmektedir.

%30 oranında SiC ilave edilen alümina kompozit numunelerde SiC tane boyut arttıkça SiC yüzey alanı azalmaktadır. Bu durum sinterleme için gerekli daha az camsı fazın oluşumuna neden olmaktadır.



Yoğunluğun çok düşük değerlerde (< %85) kalması nedeniyle mukavemeti belirleyen faktör yoğunluk değil sıvı faz sinterleme ile gerçekleşen birbiri ile bağlı tane miktarı ve yüzeye açık gözeneklerce belirlenmektedir.

Dolayısıyla daha az gözenekliliğe sahip olmakla birlikte %40 SiC ilaveli  $Al_2O_3$  malzemeler heterojen gözeneklilik ve yüzey çatlaklarına bağlı olduğu düşünülen mukavemet düşüşü göstermiştir. Yüzeye açık çatlaklar Bölüm 6.6.'da optik mikroskop ile elde edilen görüntülerde açıkça görülmektedir.



Şekil 6.5. Numunelerin üç nokta eğme mukavemeti dağılımı

### 6.5. Sertlik

Sertliği ölçülecek sinterlenmiş numunelerin yüzeyi zımparalanarak parlatılmıştır. Rockwell sertlik ölçme yönteminde batıcı uç olarak tepe açısı  $120^\circ$  olan basık elmas kullanılmıştır ve yöntem HRA olarak ifade edilmiştir. Her bir numune için 15 sn süre ile 60 kg yük uygulanarak 3 ayrı ölçüm yapılmıştır.

Bu ölçüm değerlerinin ortalaması alınmış ve daha sonra değerler birim çevrim tablosuna göre Vickers sertlik birimine (HV) dönüştürülmüştür. Elde edilen değerler Tablo 6.5'te verilmektedir. Bu tablodaki değerlere göre Şekil 6.6'daki grafik çizilmiştir.

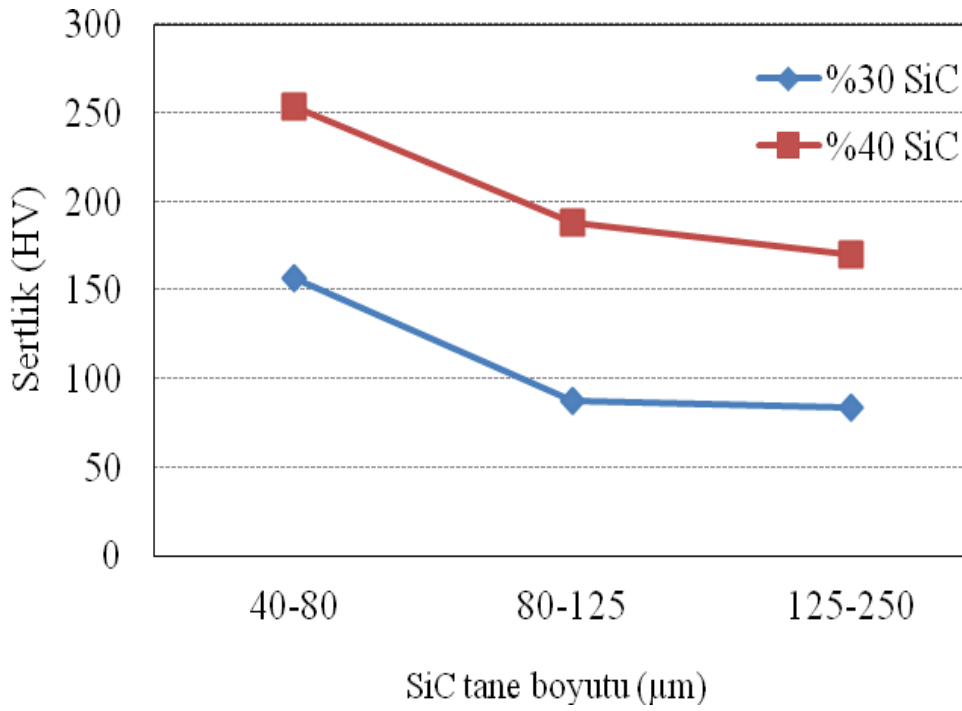
Tablo 6.5. Sinterlenmiş numunelerin sertlik değerleri, HRA, HV

<b>Malzeme kodu</b>	<b>Sertlik (Rockwell) (HRA)</b>	<b>Sertlik (Vickers) (HV)</b>
30S_40-80	50,3	157
30S_80-125	28	88
30S_125-250	25,6	84
40S_40-80	59,6	254
40S_80-125	55	188
40S_125-250	52,3	170

Alümina yüksek sertliğe sahip bir seramiktir (19,6 GPa, ~ 2000 HV). SiC ise alüminaya göre daha sert bir seramiktir (27,4 GPa ~ 2790 HV). Alümina matrisli kompozit içerisinde SiC ilavesi, kompozit malzemenin sertliğini arttırmaktadır.

En yüksek sertlik değerine sahip olan numune %40 oranında ve 40-80 µm boyutunda SiC içeren numuneden elde edilmiştir. En düşük sertlik değeri ise 84 HV olarak, %30 oranında ve 125-250 µm boyutunda SiC içeren numunede ölçülmüştür.

Bu çalışmada sertliğe etki eden bir diğer faktör ise SiC tane boyutudur. İri tane boyutunun sertlik üzerine etkileri incelendiğinde ise tane boyut artışının sertlik üzerinde olumsuz etkisi olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi ince taneli SiC takviyeli kompozit seramiklerde homojen bir mikroyapı ve daha düşük gözeneklilik elde edilmiş olması olarak gösterilebilir (Şekil 6.9).

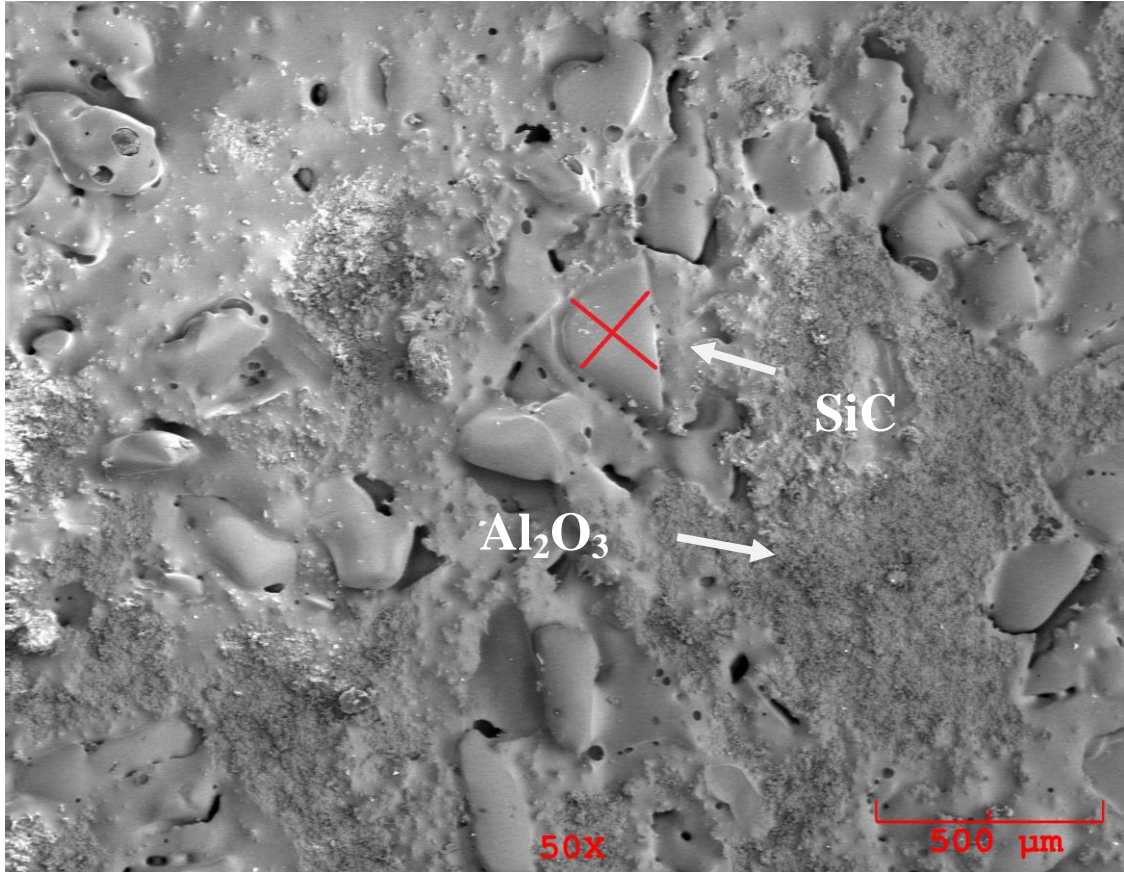


Şekil 6.6. Sinterlenmiş numunelerin sertlik değerleri dağılımı

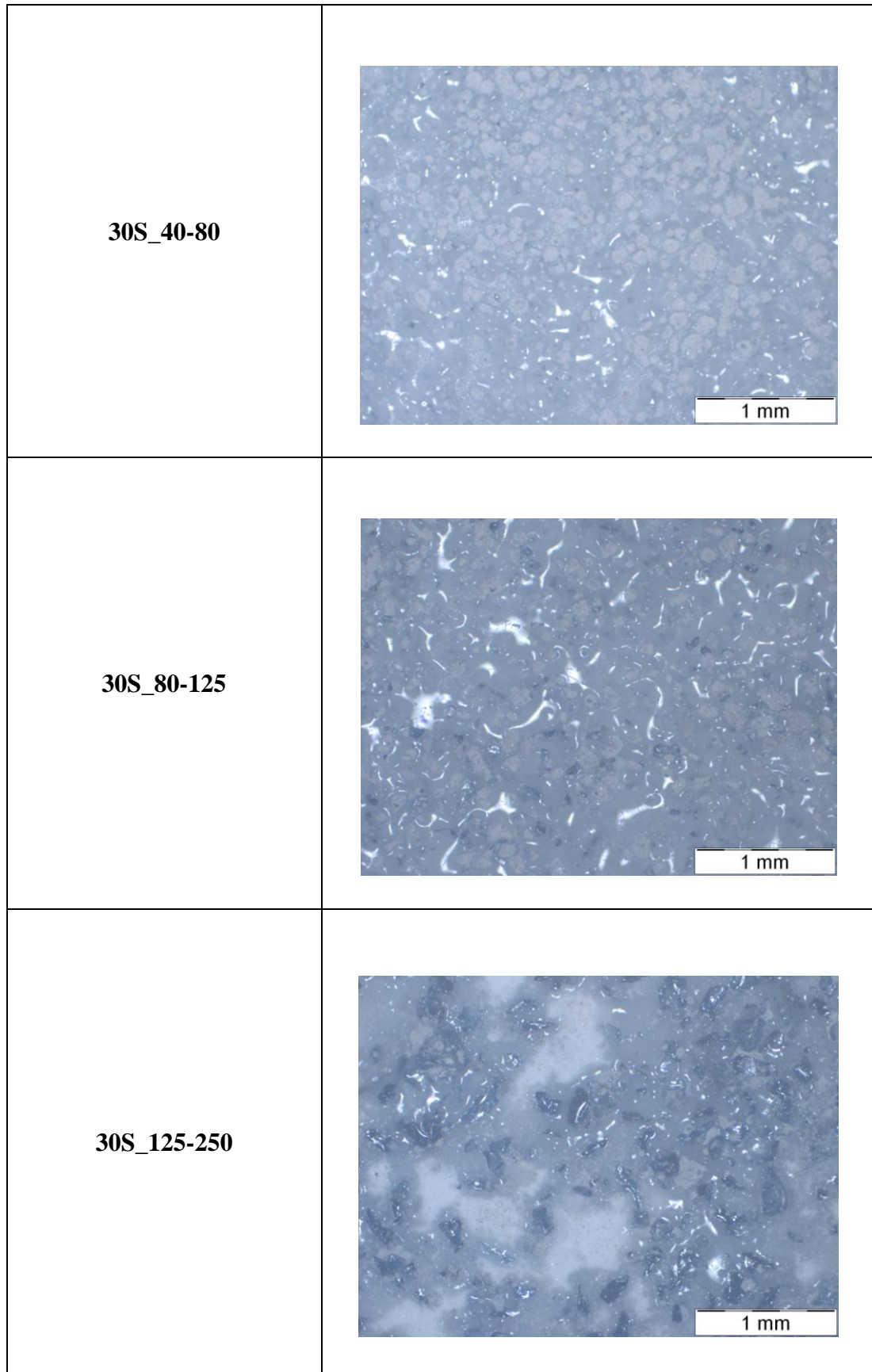
## 6.6. SEM ve Optik Mikroyapı İncelemeleri

1650°C'de 1 saat boyunca sinterlenen farklı tane boyutlarda ve ağırlıkça %30 ve %40 SiC içeren alümina kompozit malzemelere ait 50 büyütmede alınan optik mikroskop görüntüleri Şekil 6.8 ve Şekil 6.9 verilmiştir.

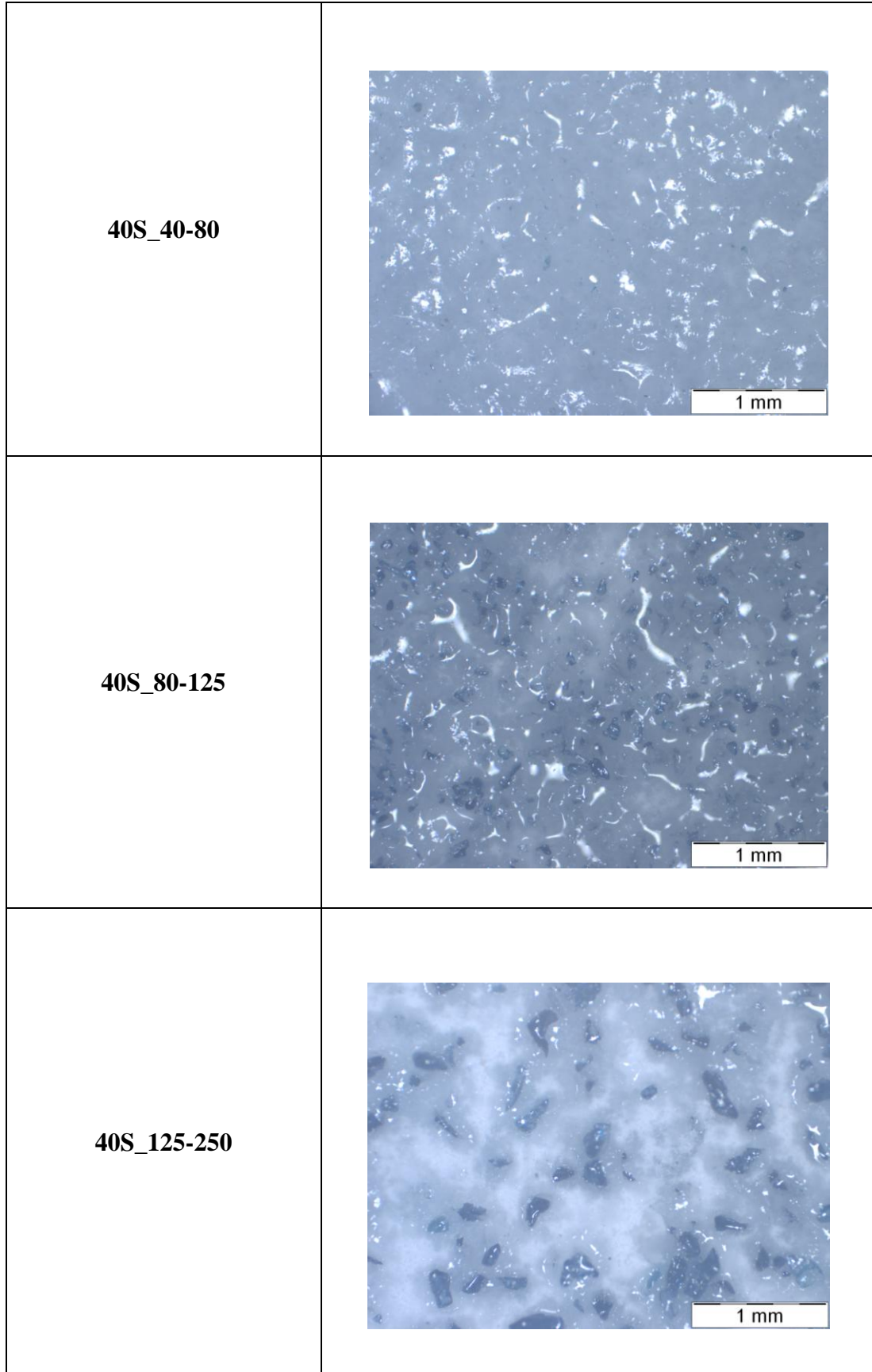
SEM ile mikroyapı görüntüsü elde edilen 40S\_125-250 malzemede iri ve köşeli formda görülen tanelerin SiC olduğu, daha koyu renkteki matris yapının ise alümina olduğu değerlendirilmiştir (Şekil 6.7). Açık renkli bölümler ise  $Al_2O_3-SiO_2$  bileşiminde kompleks cam fazına ait olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6.7. 40S\_125-250 kodlu numunenin SEM mikroyapısında Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> veSiC görünümü



Şekil 6.8. %30 oranında SiC içeren kompozitlerin optik mikroyapıları

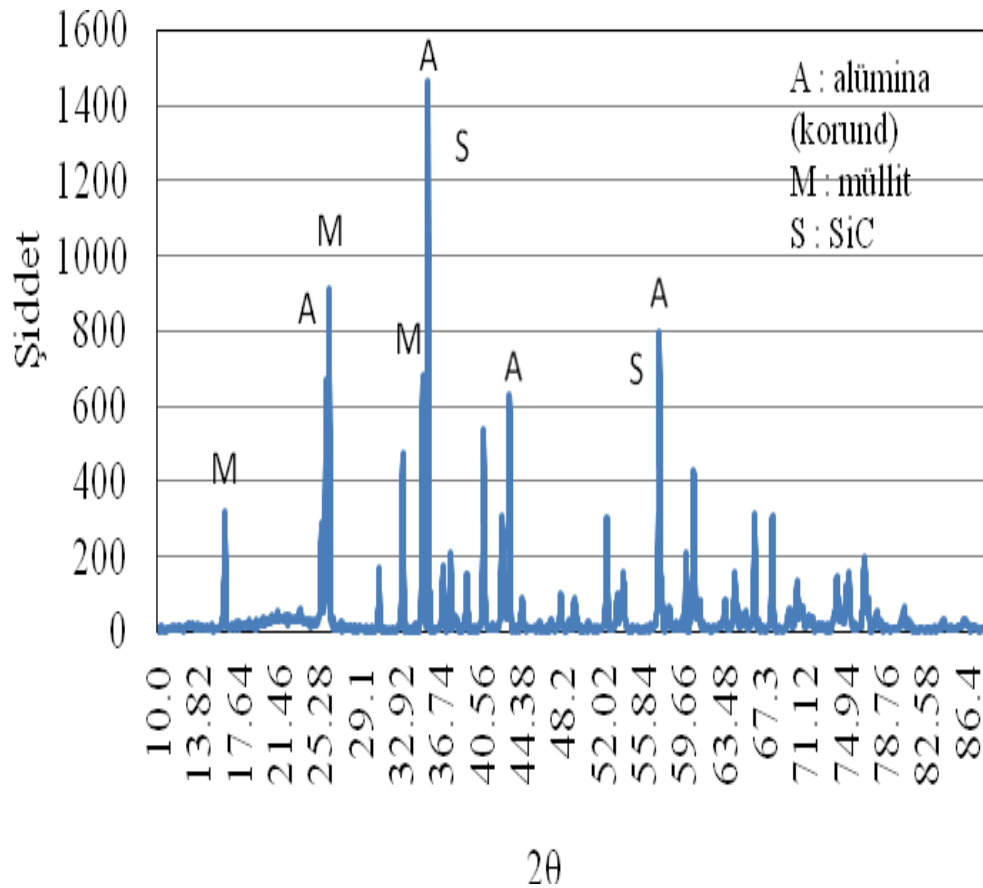


Şekil 6.9. %40 oranında SiC içeren kompozitlerin optik mikroyapıları

Optik mikroskoptan elde edilen fotoğraflar incelendiğinde alümina matristeki SiC dağılımının büyük boyutlu SiC katkı yapılarında istenilen homojenlikte sağlanmadığı görülmektedir. SiC tane boyutun ana malzemeye oranla çok daha yüksek oluşu ve karıştırma koşullarından kaynaklanan nedenlerle ince taneli alümina içerisinde iri taneli SiC ile homojen bir yapı elde edilememiştir.

### 6.7. X-Işınları Difraksiyonu (XRD)

1650°C’de sinterlenen 40-80 µm boyutunda %40 SiC ilaveli alümina kompozit malzemenin XRD sonuçları Şekil 6.10’da verilmiştir. SiC ilavesi ile birlikte alüminanın yanı sıra, müllit fazının da varlığı gözlenmiştir.



Şekil 6.10. Sinterlenmiş 40-80 µm boyutunda %40 SiC ilaveli alüminanın XRD analizi

Bu deneyde kullanılan numuneler açık atmosfer ortamında sinterlenmiştir. SiC'ün sinter ortamındaki oksijenle reaksiyona girmesini sonucunda SiO<sub>2</sub> ve CO oluşmaktadır. Sinter ortamında oluşan ve yüzeyde mevcut SiO<sub>2</sub> ile ana yapı (alümina) reaksiyona girerek müllit (Al<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>13</sub>) fazını oluşturmaktadır.

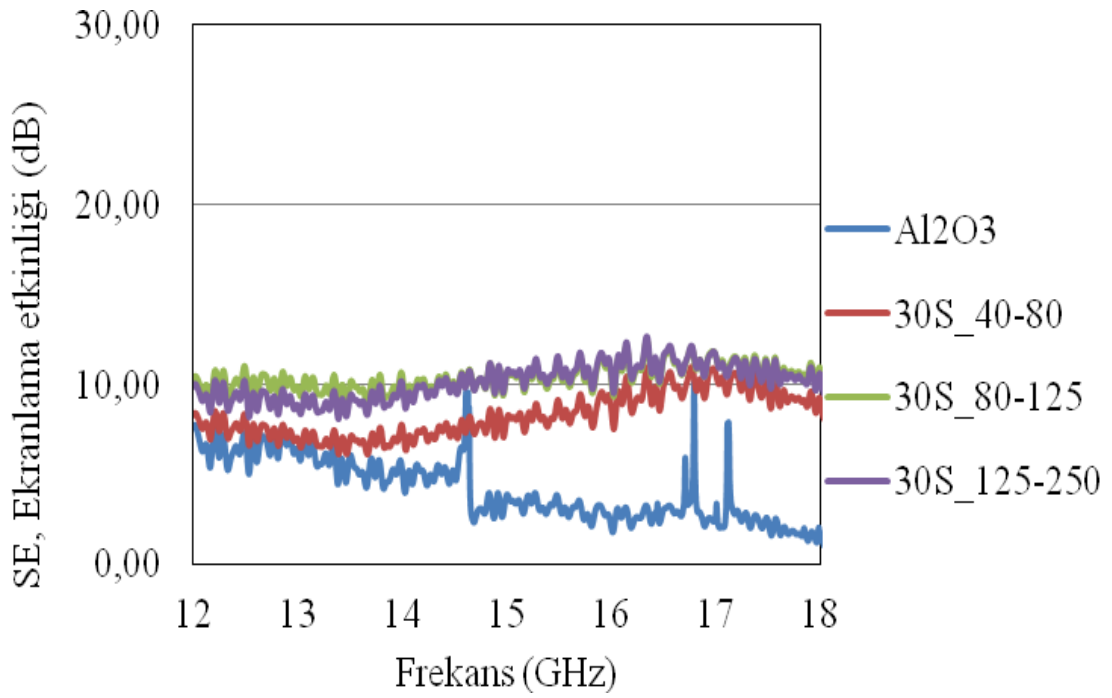
### **6.8. Elektromanyetik Ekranlama ve Ekranlama Etkinliği**

Bu tez çalışmasında hazırlanan SiC takviyeli alümina seramik malzemelerin elektriksel iletkenlik özellikleri araştırılmış ve Suilin Shi [3] tarafından yapılan bir çalışma referans alınarak hazırlanan numunelerin ekranlama etkinliği (SE) incelenmiştir.

Bu metotta, sinyal üretici tarafından üretilen EM dalganın iki plaka arasında iletilmesinden yararlanarak, plakalar arasında numune yokken spektrum analizörde görüntülenen değerin, numune konması halinde görüntülenen değer ile karşılaştırılması yapılmış ve kompozit malzemelerin ekranlama performansı ile ilgili değerlendirmelerde bulunulmuştur.

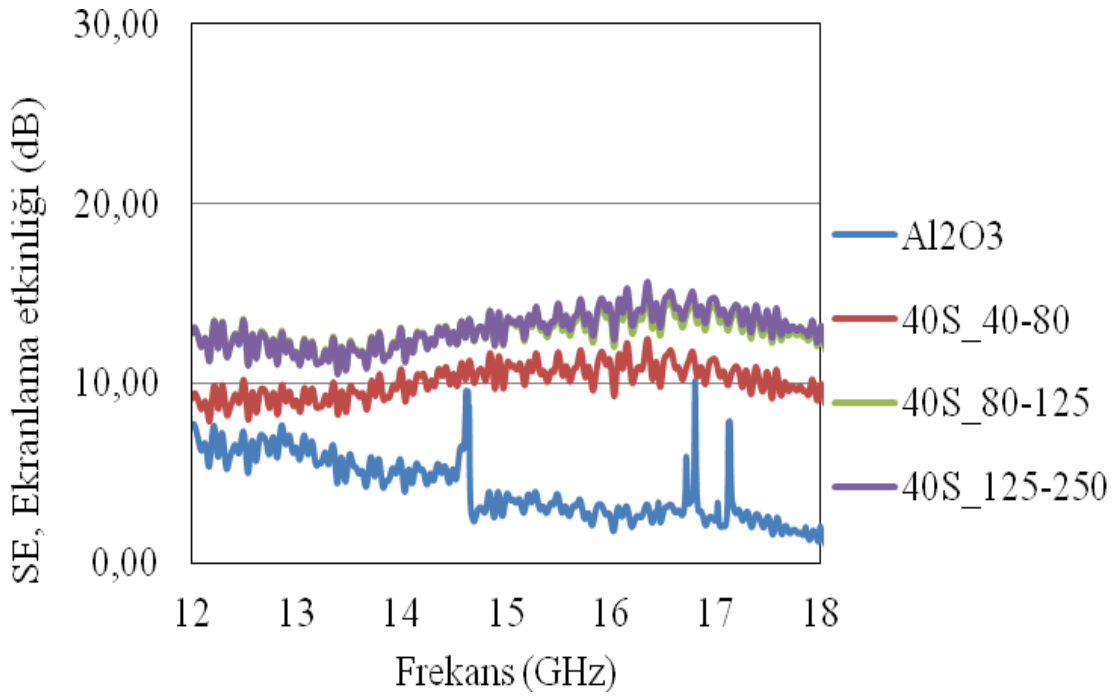
%30 SiC içeren numunelerin ekranlama etkinliğine dair grafik (Şekil 6.11) incelendiğinde farklı boyutlarda SiC içeren malzemelerin saf alüminaya göre daha yüksek bir etki gösterdiği gözlenmiştir. Yine bu grafikte SiC tane boyutu artışının ekranlama etkinliği üzerinde artışa sebep olduğu belirlenmiştir.





Şekil 6.11. %30 SiC içeren numunelerin saf alümina ve farklı tane boyutunda SiC içeriğine göre 12-18 GHz aralığında SE değerlerinin karşılaştırılması

Ekranlama amaçlı düzeneğe yerleştirilen %40 SiC oranına sahip numuneler ile gerçekleştirilen ölçümler neticesinde ise 12-18 Ghz frekans aralığında SE değeri Şekil 6.12’de verildiği gibi 10 dB ile 15 dB aralığındadır. Saf alüminaya uygulanan elektromanyetik dalga neticesinde az bir miktar ekranlama etkinliği görülürken SiC tane boyutu arttıkça ekranlama etkinliğinde arttığı görülmüştür.



Şekil 6.12. %40 SiC içeren numunelerin saf alümina ve farklı tane boyutunda SiC içeriğine göre 12-18 GHz aralığında SE değerlerinin karşılaştırılması

İri taneli SiC ile ince taneli SiC içeren aynı kompozisyonlardaki malzemelerde farklı ekranlama etkinliğinin görülmesi SiC tanelerinin oluşturduğu iz düşüm alanı ile açıklanabilir. EMS testine tabi tutulan malzemelerin mikroyapı görünümleri (Şekil 6.8 ve 6.9) incelendiğinde iri boyutlu SiC (125-250 µm) içeren yapı üzerinde SiC tanelerinin iz düşüm alanı ince boyutlu (40-80 µm) SiC tanelerinin iz düşüm alanına göre daha yüksek olduğu değerlendirilmesinde bulunulmuştur. Bu durumu malzemeye etkileyen elektromanyetik dalgaların daha geniş bir yüzey alanında SiC taneleri tarafından karşılanabildiği şeklinde yorumlanabilir.

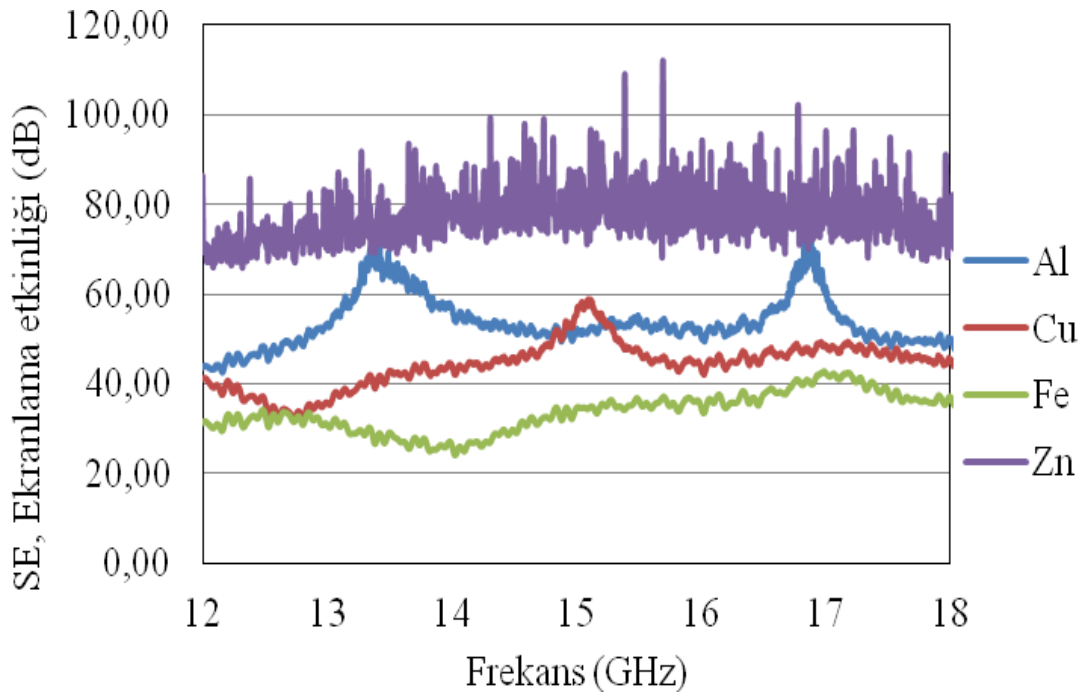
Bu çalışmada elde edilen bir diğer sonuç SiC oranının ekranlama etkinliğine etki etmiş olmasıdır. SiC % miktarının yüksek olduğu (%40) gruptaki numunelerde SiC % miktarının düşük olduğu (%30) gruptaki numunelere göre daha yüksek ekranlama etkinliği gözlenmiştir.

Bu durum malzeme elektriksel iletkenliği ile ekranlama etkinliği arasındaki bir ilişki olduğu şeklinde yorumlanmıştır. SiC seramik malzemenin alümina seramik

malzemeye göre nispeten yüksek iletkenlikte olması ( SiC:  $10^{-4}$   $1/\Omega\text{m}$ , alümina:  $10^{-12}$   $1/\Omega\text{m}$  ) göz önüne alınarak elektriksel iletkenliğin ekranlama etkinliğini arttırdığı görülmüştür. İletkenliğin daha yüksek olduğu olduğu malzemelerde EM dalganın malzeme içinde kalması durumu artmaktadır (EM dalga malzeme içinde saçılmaktadır). Bu durumun nedeni SiC tanelerin bir ağ oluşturarak EM dalga geçirimsizliğini engellemesidir. Bu davranış metallerin davranışına benzetilebilir. Metallerde elektromanyetik ekranlama işlemi metallerin yansıtıcı özelliğine bağlıdır. Metaller çoğu frekans bölgesinde yüksek oranda yansıtıcı özelliğe sahiptir.

Bu bilgiler gözönüne alındığında bu çalışmada kullanılan alümina ve SiC malzemelerin metallere kıyasla çok düşük elektriksel iletkenlik değerine sahip olmasına rağmen belli oranda da olsa ekranlama etkinliği gösterdiği görülmüştür.

Bu çalışmada kullanılan numuneler ile bazı metallerin ekranlama etkinliğinin kıyaslanması amacıyla Şekil 6.13'deki grafik sunulmuştur.



Şekil 6.13. Bazı metallerin SE değerlerinin karşılaştırılması

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde seramik kompozitler metallere göre düşük bir ekranlama etkinliği göstermiştir.

Ancak seramiklerin kullanım alanları dikkate alınarak farklı uygulama alanlarına yönelik kullanımlarının zorunluluğu durumlarında ekranlama yapabilmeleri gereken durumlar için bu verilerin kullanılabilmesi değerlendirilmiştir. Diğer bir ifade ile metallerin kullanılmayacağı yüksek sıcaklık ve korozif ortamlarda EM ekranlaması gerekli uygulamalarda bu özelliğe sahip seramiklerin yeterli performansı göstermesi beklenebilir.

## BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 7.1. Sonuçlar

Bu çalışmada SiC ilavesi ile alümina esaslı seramik kompozitlerin çeşitli özellikleri araştırılmıştır. %30 ve %40 oranında SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerisine katılarak karışımlar hazırlanmış ve bu karışımlar kuru presleme tekniği ile şekillendirilmiştir. Şekillendirme sonrası test numuneleri 1650°C’de sıcaklıklarda sinterlenmiş ve çeşitli testlere tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Hesaplanan pişme küçülmeleri 30S\_40-80, 30S\_80-125, 30S\_125-250, 40S\_40-80, 40S\_80-125 ve 40S\_125-250 için sırasıyla %0,18, %0,28, %0,38, %0,44, %0,66 ve %1,77 olarak tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen verilerin analizi sonrasında sinterleme sonrası pişme küçülmesi miktarının çok düşük kaldığı görülmüştür. Bununla birlikte SiC oranı ve tane boyutunun artışı ile pişme küçülmesi değerinin arttığı belirlenmiştir. Pişme küçülmesi değerlerinin çok düşük olması uygulanan sinterleme sıcaklığının yeterli olmadığını göstermiştir.

2. Bu çalışmada numunelerin yoğunlukları Arşimet Prensibi ile belirlenmiştir. Ağırlıkça %30 SiC içeren alümina kompozitlerde yoğunluk ortalama 2,7 g/cm<sup>3</sup>, %40 SiC içeren alümina kompozitlerde ise ortalama 2,82 g/cm<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Yoğunlukların teorik yoğunluğa yakın olmamasının nedeni SiC ilave oranının fazla olmasıdır. Ayrıca bu sistemde öngörülen yoğunlaşmanın sağlanabilmesi için, kullanılan sıcaklığın yeterli olmadığı görülmüştür.

3. Numunelerin % gözeneklilik miktarları incelendiğinde SiC artış miktarı ile gözeneklilikteki azalışın tane boyutu artışı ile ters orantılı olduğu görülmektedir. Başka bir ifade ile küçük tane boyutlu SiC ilavesi daha fazla spesifik yüzey alanı oluşmakta ve bu durumda SiC yüzeyinde SiO<sub>2</sub> miktarını da artmaktadır.

Bu nedenle  $Al_2O_3$  SiC yüzeyinde mevcut  $SiO_2$  ile sinterleme sıcaklığında ( $1650^\circ C$ ) tepkimeye girerek daha fazla sıvı fazı oluşturduğu için daha düşük gözenekliliğe neden olabileceği düşünülmüştür.

4. Genel olarak eğme dayanımı değerleri incelendiğinde ise SiC katkılı alüminaların katkı miktarı ve SiC tane boyutu arttıkça mukavemetinin düştüğü görülmektedir. %30 oranında SiC ilave edilen alümina kompozit numunelerde SiC tane boyut arttıkça SiC yüzey alanı azalmaktadır. Bu durum sinterleme için gerekli daha az camsı fazın oluşumuna neden olmaktadır. Yoğunluğun çok düşük değerlerde ( $< \%85$ ) kalması nedeniyle mukavemeti belirleyen faktör yoğunluk değil sıvı faz sinterleme ile gerçekleşen birbiri ile bağlı tane miktarı ve yüzeye açık gözeneklerce belirlenmektedir. Dolayısıyla daha az gözenekliliğe sahip olmakla birlikte %40 SiC ilaveli  $Al_2O_3$  malzemeler heterojen gözeneklilik ve yüzey çatlaklarına bağlı olduğu düşünülen mukavemet düşüşü göstermiştir.

5. Sinterlenen numunelerde SiC ilavesi sonucu alüminanın yanı sıra, mullit fazının da varlığı gözlenmiştir. SiC'ün oksitlenmesi ile oluşan  $SiO_2$  alümina ile reaksiyona girerek müllit fazını meydana getirmiştir.

6. Saf alümina ile %30 ve %40 oranında farklı tane boyutlarında SiC içeren numunelerin 12-18 GHz aralığında ekranlama etkinliği (SE) değerleri incelenmiş iki farklı parametrenin etkili olduğu görülmüştür. Yapı içerisinde % SiC oranının artışı ekranlama etkinliğini arttırmıştır. SE değeri artışındaki temel etken alümina ve SiC malzemelerinin elektriksel iletkenlik değerleri olarak düşünülmüştür. SiC taneleri bir ağ oluşturarak EM dalga geçirimsizliğini engellemiştir.

7. Aynı oranda SiC içeren malzemelerde ise SiC tane boyutunun artışı ekranlama etkinliğini arttırmıştır. Bu durumun iri boyutlu tanelerin yapı içerisinde iz düşüm alanının ince boyutlu tane iz düşüm alanına göre daha yüksek olduğu için gerçekleştiği düşünülmüştür.

## 7.2. Öneriler

1. Ağırlıkça %30 ve %40 veya daha fazla SiC ilaveli Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit yapının sıcak presleme ve/veya uygun sinter katkı ilavesi ile sıvı faz sinterleme koşulları altında daha yüksek yoğunluklar ve mukavemet değerleri elde edilerek oluşturulacak yeni malzemelerin EMS etkileri araştırılabilir.

2. Seramik matris ana yapı korunarak uygun iletken metalik takviye malzemelerle oluşturulacak yeni kompozit yapılar üretilerek daha etkin EMS etkisinin eldesi araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] SMITH, W., Malzeme Bilimi ve Mühendisliği (3.Baskı), (N.G. KINIKOĞLU, Çev.). İstanbul: Literatür Yayıncılık, 2001.
- [2] CHASSALE, EP., RANGEL, ER., and ROMO, MR., “Production, Microstructural Comparison and Mechanical Behavior of Reinforced Alumina Composites Containing Zirconia, Silicon Carbide, Nickel and Titanium”, Journal of Ceramic Processing Research. Vol. 11, No. 3, pp. 372~376, 2010.
- [3] WU, J., “Structural and Functional Polymer-Matrix Composite Materials for Electromagnetic Applications”, the University at Buffalo, State University of New York, Department of Mechanical & Aerospace Engineering, 2010.
- [4] SHI, S., ZHANG, L., and LI, L., “High Frekuensi Elektromagnetik Interference Shielding Behaviors Of Ti3SiC2/Al2O3”, Shijiazhuang Mechanical Engineering College, Shijiazhuang 050003, People’s Republic of China, 2008.
- [5] FU, X., and D.D.L., “Chung, Submicron-diameter-carbon-filament cement-matrix composites”, Carbon 36 4, pp. 459–462, 1998.
- [6] KARTAL, A., “Seramik Süreçler I Ders Notları”, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi Ve Mühendisliği, Afyonkarahisar, 2007-2008.
- [7] GEÇKİNLİ, E., “İleri Teknoloji Malzemeleri”, İ.T.Ü. Kimya Metalurji Fak. Metalurji Müh. Bölümü, İstanbul, 1991.
- [8] ÖZGÜL, M., “Seramik Malzemelerin Fiziksel Özellikleri Ders Notları”, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi Ve Mühendisliği, Afyonkarahisar, 2006-2007.
- [9] [http://www.serfed.com/content\\_files/dergi/seramikinalfabesi/04\\_Seramik\\_Nedir\\_Kac\\_Turlu\\_Seramik\\_Vardir.pdf](http://www.serfed.com/content_files/dergi/seramikinalfabesi/04_Seramik_Nedir_Kac_Turlu_Seramik_Vardir.pdf), Erişim Tarihi :2012.
- [10] SOYHAN, H., “Seramiklerin Sinterleme Prosesi Süresince Şekil Değişikliklerinin İncelenmesi”, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Temmuz, 2007.



- [11] ARCASOY, A., “Seramik Teknolojisi”, Marmara Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1983.
- [12] YILMAZ, Ş., DEMİRKIRAN, AŞ., “Seramik Malzemeler II Ders Notları”, Sakarya Üniversitesi SAÜ, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, 2011-2012.
- [13] TOPLAN, Ö., “İleri Teknoloji Seramikler Ders Notları”, Sakarya Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, 2011-2012.
- [14] ÖZTÜRK, M., “SiC İlaveli Alumina Seramik Kompozitler”, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Mayıs, 2007.
- [15] SAMUEL, JS., Ceramics and Glasses (4. Baskı). USA: ASM International, 1991.
- [16] KURT, AO., “Toz Üretim Yöntemleri ve Sinterleme Ders Notları”, Sakarya Üniversitesi SAÜ, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, 2004-2010.
- [17] BÜYÜKUNCU, G., “Bor karbür/silisyum Karbür Kompozitlerinin Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2000.
- [18] KAZANÇ, V., “Kompozit Malzemeler ve Mekanik Özellikleri”, Süleyman Demirel Üniversitesi, Makine Müh. Böl., Bitirme Ödevi, Isparta, 2002.
- [19] ÜNAL, O., “Kompozit Malzemeler”, Yapı Malzemeleri Ders Notları, A.K.Ü. Teknik Eğitim Fak.([www.teknolojikarastirmalar.com/e\\_egitim/](http://www.teknolojikarastirmalar.com/e_egitim/)), 2012.
- [20] ESERCİ, D., “Alümina, Zirkonya ve Alümina-Zirkonya Kompozit Malzeme Üretimi, Karakterizasyonu ve Etkin Difüzyon Sabitinin Bulunması”, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, Temmuz, 2007.
- [21] ÖZDEMİR, M., “Kaolen-Sepiyolit Katkılı Kordiyerit Üretimi”, A.K.Ü., Uşak Müh. Fak., Seramik Müh. Bölümü, Mezuniyet Tezi, Afyon, 2004.
- [22] BAKAR, B., “Alümina Katkılı Silisyum Karbürün Sinterlenmesi ve Karakterizasyonu”, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eylül, 2009.
- [23] YILDIRIM, İ., “Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve SiC’ün Mukavemet Özellikleri Üzerine Üretim Şartları ve Bileşimin Etkisi”, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Eylül, 2002.
- [24] SEYFİ, L., “Cep Telefonu Işımasının Kullanıcı Yönünde Ekranlama Yöntemiyle Zayıflatılması”, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2006.

- [25] SERWAY, RA., and BEİCHNER, RJ., 2002. (Fen ve Mühendislik için Fizik-2, Kemal Çolakoğlu, Palme Yayıncılık, Ankara).
- [26] DAĞ, N., “İletken Tekstil Yüzeplerinde Elektromanyetik Kalkanlama Özelliğinin Araştırılması”, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [27] CENGİZ, S., “Elektromanyetik Girişimden Korunmada Ekranlama Etkinliği ve Elektromanyetik Ekranlama Uygulamaları”, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [28] GERMAN, RM., “A-Z Powder metallurgy”, CAVS Chair Proffesor of Mechanical Engineering Director, Center for Advanced Vehicular Systems Mississippi State University, Mississippi, USA.
- [29] [http://www.oocities.org/ferritec\\_eng/appendix\\_2.htm](http://www.oocities.org/ferritec_eng/appendix_2.htm), Erişim Tarihi :2012.
- [30] <http://www.home.agilent.com/en/pd-810708-pn-E5071C/ena-series-network-analyzer>, Erişim Tarihi :2012.
- [31] GRIFFITH, AA., The phenomena of rupture and flow in solids, Phil. Trans. R. Soc. London A 221 (1920) 163–198.
- [32] NASA Reference Publication 1374, July, 1995.
- [33] SHI, XL., XU, FM., ZHANG, ZJ., DONG, YL., TAN, Y., WANG, L., and YANG, JM., “Mechanical Properties of Hot-Pressed Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Sic Composites”, Materials Science and Engineering A 527 (2010) 4646–4649.
- [34] ERCENK, E.; “ZnO - % 6 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> İkili Sisteminde İlavlesinin Mikroyapı Ve Tane Büyüme Kinetiğine Etkileri”, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Haziran, 2005.

## ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Zonguldak'ta doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Manisa'da tamamladı. 2005 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde başladığı Malzeme Bilimi Ve Mühendisliği'nden 2009 yılında mezun oldu. 2010 yılında Sakarya Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine başladı.